



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E  
INDUSTRIAS  
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**ANÁLISIS COMPARATIVO TÉRMICO Y ESTRUCTURAL EN  
ACEROS DE HASTA 6 MM DE ESPESOR CORTADOS POR  
PLASMA Y OXIACETILÉNICA APLICADO EN LA INDUSTRIA  
AUTOMOTRIZ**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**AUTOR: JUAN FERNANDO CUENCA BOHÓRQUEZ**

**DIRECTOR: ING. EDWIN TAMAYO**

**Quito, marzo 2018**

© Universidad Tecnológica Equinoccial. 2018  
Reservados todos los derechos de reproducción

**FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO**  
**PROYECTO DE TITULACIÓN**

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1723669311
APELLIDOS Y NOMBRES:	CUENCA BOHÓRQUEZ JUAN FERNANDO
DIRECCIÓN:	PIFO
EMAIL:	<a href="mailto:juanfer_cb@hotmail.com">juanfer_cb@hotmail.com</a>
TELÉFONO FIJO:	022380554
TELÉFONO MOVIL:	0979146405

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“Análisis comparativo térmico y estructural en aceros de hasta 6 mm de espesor cortados por plasma y oxiacetilénica aplicado en la industria automotriz”.
AUTOR O AUTORES:	CUENCA BOHÓRQUEZ JUAN FERNANDO
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	19 de marzo de 2018
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	ING. EDWIN TAMAYO MSC.
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Automotriz
RESUMEN: Mínimo 250 palabras	El desarrollo del presente trabajo de investigación con el título “Análisis comparativo térmico y estructural en aceros de hasta 6 mm de espesor cortados por plasma y oxiacetilénica aplicado en la industria automotriz”, se inició con una investigación de campo para identificar los aceros más utilizados en la automoción. De esta búsqueda se obtuvo, que para la mayoría de los trabajos de carrocerías los aceros más comunes son el A36 y el ASTM A36 – ST37.2 (antideslizante). A lo anterior se añade que para trabajos específicos de alargamiento de chasis, alma de la viga y durmientes del chasis, el acero que se utiliza es el Acero ASTM A131 o acero naval como también se le conoce y en trabajos de reparación de engranajes, arboles, cigüeñales, piezas estampadas, partes de maquinarias así como en la construcción de pernos y remaches se utiliza el acero SAE 1045 ò ASTM A108. Una vez identificados los materiales fueron cortadas las muestras

	<p>por ambos métodos, posteriormente se tomaron las temperaturas en las zonas adyacentes al corte para luego realizar el análisis térmico. Después fueron preparadas las probetas para los ensayos de dureza y metalografía, los que dieron como resultado que la dureza varía dependiendo de la cantidad de carbono que contiene el material, del proceso térmico de corte y del tratamiento térmico del borde cortado. A nivel microestructural se observó que los aceros cortados por plasma presentan un refinamiento del grano en la zona afectada térmicamente, contrario al proceso del oxicorte que presenta un crecimiento de grano en la zona afectada. Finalmente con los datos obtenidos de los diferentes ensayos, se demostró que las zonas afectadas térmicamente (ZAT) por los procesos de corte presentan menor tamaño con respecto al método de plasma y una mayor área de afectación por el método de oxiacetilénica.</p>
<p><b>PALABRAS CLAVES:</b></p>	<p>Plasma, oxicorte, microestructura, dureza, temperatura.</p>
<p><b>ABSTRACT:</b></p>	<p>The development of the present work of investigation with the title "Analysis comparative thermal and structural in steels of until 6 mm of thickness cut by plasma and oxyfuel applied in the automotive industry", began with a field investigation to identify the steels more used in the automotive From this search it was obtained, that for the majority of the car body works the most common steels are the A36 and the ASTM A36 - ST37.2 (anti-slip). To the above it is added that for specific works of elongation of chassis, soul of the beam and sleepers of the chassis, the steel used is Steel ASTM A131 or naval steel as it is also known and in repair work of gears, trees, crankshafts, stamped parts, parts of machinery as well as in the construction of bolts and rivets is used steel SAE 1045 or ASTM A108. Once the materials were identified, the samples were cut by both methods, then the temperatures were taken in the areas adjacent to the cut, and then the thermal analysis was performed. The test pieces were then prepared for the hardness and metallography tests, which resulted in the hardness varying</p>

	depending on the amount of carbon contained in the material, the thermal cutting process and the thermal treatment of the cut edge. At the microstructural level it was observed that the steels cut by plasma present a refinement of the grain in the thermally affected area, contrary to the oxyfuel process that presents a grain growth in the affected area. Finally, with the data obtained from the different tests, it was shown that the thermally affected areas (ZAT) by the cutting processes have smaller size with respect to the plasma method and a greater area of involvement by the oxyfuel method.
<b>KEYWORDS:</b>	Plasma, oxyfuel, microstructure, hardness, temperature.

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.



f: \_\_\_\_\_  
JUAN FERNANDO CUENCA BOHÓRQUEZ

C.I. 1723669311

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **JUAN FERNANDO CUENCA BOHÓRQUEZ**, CI 1723669311 autor del proyecto titulado: **“Análisis comparativo térmico y estructural en aceros de hasta 6 mm de espesor cortados por plasma y oxiacetilénica aplicado en la industria automotriz”**. Previo a la obtención del título de **INGENIERO AUTOMOTRIZ** en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad Tecnológica Equinoccial a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, 23 de Marzo del 2018



f: \_\_\_\_\_  
**JUAN FERNANDO CUENCA BOHÓRQUEZ**

C.I. 1723669311

## DECLARACIÓN

Yo **JUAN FERNANDO CUENCA BOHÓRQUEZ**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



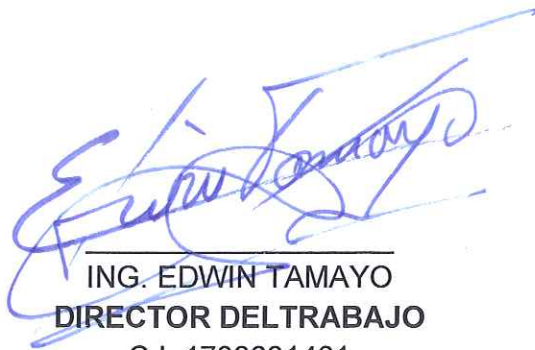
f: \_\_\_\_\_

JUAN FERNANDO CUENCA BOHÓRQUEZ

C.I. 1723669311

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “**Análisis comparativo térmico y estructural en aceros de hasta 6 mm de espesor cortados por plasma y oxiacetilénica aplicado en la industria automotriz**”, que, para aspirar al título de **INGENIERO AUTOMOTRIZ** fue desarrollado por **JUAN FERNANDO CUENCA BOHÓRQUEZ**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e industrias; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 19, 27 y 28.



ING. EDWIN TAMAYO  
DIRECTOR DEL TRABAJO

C.I. 1708601461



## DEDICATORIA

Este trabajo quiero dedicar a Dios por estar presente en toda mi vida, siendo mi guía y mi fortaleza, para la finalización de este proyecto de investigación, y a mis familiares que han estado conmigo en los buenos y malos momentos.

Especialmente a mis padres Juan Cuenca y Mary Bohórquez, que gracias a su apoyo y constante dedicación durante toda mi vida y formación profesional, me permitió alcanzar uno de mis sueños. Les dedico este trabajo y les agradezco por su amor, paciencia y comprensión.

A mi hijo Juanito Camilo que ha sido mi principal motivación para terminar mi proyecto y seguir esforzándome para ser un ejemplo cada día.

A mi novia Vivy por su interés en todo lo que hago, y su apoyo en los momentos que más necesite.

A mis hermanas Mony y Kary por ser un ejemplo de constante superación.

Y a mí cuñado Fausto por sus consejos y ayuda incondicional.

Gracias por la confianza depositada en mí, espero ser un orgullo para ustedes.

“La disciplina, tarde o temprano, vencerá a la inteligencia”- Yokoi Kenji

# AGRADECIMIENTO

Mis primeras palabras de agradecimiento son para mi director de trabajo de titulación Ing. Edwin Tamayo MSc, por su acertada labor de dirección, esfuerzo y paciencia mostrada durante las etapas de esta investigación.

De igual forma expreso mis agradecimientos al Ing. Juan Carlos Lucero y al Ing. Alex Guzmán, por la implicación y el alto grado de interés en el desarrollo del presente trabajo, y a su vez a todos los docentes que formaron parte de mi vida académica, permitiéndome crecer en forma personal y profesional; me llevo gratos recuerdos y enseñanzas de todos.

Agradezco a la Escuela Politécnica Nacional, por haberme permitido realizar los ensayos en sus instalaciones.

También agradezco a mis amigos Alexis, Álvaro, Guillermo, Elvis, David, Fernando, y a todas las personas no nombradas pero nunca olvidadas, que me brindaron su sincera amistad, cariño y apoyo, que directa e indirectamente fueron parte del cumplimiento de mi sueño.

Dios los bendiga eternamente.

Finalmente agradezco a la Universidad Tecnológica Equinoccial por haber sido mi segundo hogar.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
<b>RESUMEN.....</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>2</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
1.1 OBJETIVOS	11
1.1.1 OBJETIVO GENERAL	11
1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
<b>2. METODOLOGÍA.....</b>	<b>12</b>
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>15</b>
3.1 SELECCIÓN DE MATERIALES	15
3.1.1 ACERO ASTM A-36	15
3.1.2 ACERO ASTM A131	16
3.1.3 ACERO ASTM A108	17
3.1.4 ACERO ASTM A36-ST37.2	17
3.2 OBTENCIÓN DE LAS MUESTRAS	18
3.2.1. PROCEDIMIENTO DE OXICORTE	19
3.2.2. PROCEDIMIENTO DE CORTE POR PLASMA	21
3.2.3 DIMENSIONES DE LAS MUESTRAS	22
3.3 ANÁLISIS DE LAS ZONAS AFECTADAS	22
3.4 CALIDAD DE CORTE	25
3.5 PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS	27
3.5.1 DIMENSIONES DE LAS PROBETAS	27
3.5.2. CODIFICACIÓN DE LAS PROBETAS	28
3.6 ANÁLISIS METALOGRAFICO	29
3.6.1 ANÁLISIS METALOGRAFICO DE LOS ACEROS A36-ST37.2 Y A131 (Aceros bajos en contenido de carbono)	31
3.6.2 ANÁLISIS METALOGRAFICO DE LOS ACEROS A36 Y A108 (Aceros medios en contenido de carbono)	33
3.7 ANÁLISIS DE DUREZA	35
3.7.1. PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR EL ENSAYO DE DUREZA	35
3.8 ANÁLISIS DE COSTOS	37
3.9 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS	38
<b>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>39</b>
4.1 CONCLUSIONES	39

4.2 RECOMENDACIONES	40
<b>5. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>41</b>
<b>6. ANEXOS .....</b>	<b>43</b>

# ÍNDICE DE TABLAS

	<b>PÁGINA</b>
<b>Tabla 1.</b> Composición química y propiedades mecánicas del acero ASTM A-36	15
<b>Tabla 2.</b> Composición química y propiedades mecánicas del acero ASTM A131.	16
<b>Tabla 3.</b> Composición química y propiedades mecánicas del acero ASTM A108	17
<b>Tabla 4.</b> Calibración de presiones para boquillas de oxicorte.	20
<b>Tabla 5.</b> Valores de voltaje para el corte en función del espesor.	21
<b>Tabla 6.</b> Mediciones de temperatura tomadas por la cámara térmica.	24
<b>Tabla 7.</b> Parámetros de calidad de cortes.	26
<b>Tabla 8.</b> Composición química de los materiales ensayados.	29
<b>Tabla 9.</b> Resultados del ensayo de dureza.	36
<b>Tabla 10.</b> Análisis de costos.	37
<b>Tabla 11.</b> Comparación de los resultados.	38

# ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
<b>Figura 1.</b> Temperatura en el arco de plasma.....	4
<b>Figura 2.</b> Terminología del proceso PAC .....	4
<b>Figura 3.</b> Perímetro de corte por arco de plasma. ....	5
<b>Figura 4.</b> Diagrama de equilibrio de temperatura de ignición de Hierro- Carbono.....	6
<b>Figura 5.</b> Temperatura de la llama y la relación. ....	6
<b>Figura 6.</b> Ajuste de llama de oxiacetileno .....	7
<b>Figura 7.</b> Cámara termográfica utilizada para las pruebas. ....	8
<b>Figura 8.</b> Microscopio metalográfico utilizado para las pruebas. ....	9
<b>Figura 9.</b> Diagrama Hierro – Carbono .....	9
<b>Figura 10.</b> Durómetro utilizado para las pruebas.....	10
<b>Figura 11.</b> Ejemplo de ensayo de dureza Rockwell.....	11
<b>Figura 12.</b> Fabricación y reparación de carrocerías y chasis.....	16
<b>Figura 13.</b> Placa toma fuerza .....	17
<b>Figura 14.</b> Fabricación y reparación de plataformas.....	18
<b>Figura 15.</b> Corte de las muestras, a) plasma, b) oxicorte .....	18
<b>Figura 16.</b> Muestras de los aceros seleccionados.....	19
<b>Figura 17.</b> Verificación del estado del equipo.....	20
<b>Figura 18.</b> Dimensiones de la muestra.....	22
<b>Figura 19.</b> Zona afectada térmicamente, Acero A108, a)- Corte por plasma, b)- Oxicorte. ....	23
<b>Figura 20.</b> Zona afectada térmicamente Acero A36 - ST37.2, a)- Corte por plasma, b)- Oxicorte. ....	23
<b>Figura 21.</b> Zona afectada térmicamente Acero A131, a)- Corte por plasma, b)- Oxicorte. ....	23

<b>Figura 22.</b> Zona afectada térmicamente acero A36, a)- Corte por plasma, b)- Oxicorte. ....	24
<b>Figura 23.</b> Acero A108, a)- corte por plasma, b)- Corte oxiacetilénico.....	25
<b>Figura 24.</b> Acero A36 - ST37.2, a)- corte por plasma, b)- Corte oxiacetilénico. ....	25
<b>Figura 25.</b> Acero A131, a)- corte por plasma, b)- Corte oxiacetilénico.....	25
<b>Figura 26.</b> Acero A36, a)- corte por plasma, b)- Corte oxiacetilénico. ....	26
<b>Figura 27.</b> Corte de las probetas.....	27
<b>Figura 28.</b> Dimensiones de las probetas .....	27
<b>Figura 29.</b> Moldes de preparación de probetas. ....	28
<b>Figura 30.</b> Preparación final de la probeta. ....	28
<b>Figura 31.</b> (a). Desbaste grueso, (b) Desbaste fino.....	30
<b>Figura 32.</b> Acero A36-ST37.2 Atacado con Nital al 2%. (a) Material original (b) Zona afectada térmicamente. Proceso de corte: Plasma. Magnificación en el microscopio: 500X.....	31
<b>Figura 33.</b> Acero A36-ST37.2 Atacado con Nital al 2%. (a) Material original (b) Zona afectada térmicamente. Proceso de Oxicorte. Magnificación en el microscopio: 500X.....	31
<b>Figura 34.</b> Acero A131, Atacado con Nital al 2%. (a) Material original (b) Zona afectada térmicamente. Proceso de corte por Plasma. Magnificación en el microscopio: 500X.....	32
<b>Figura 35.</b> Acero A131. Atacado con Nital al 2%. (a) Material original (b) Zona afectada térmicamente. Proceso de Oxicorte. Magnificación en el microscopio: 500X.....	32
<b>Figura 36.</b> Acero A36. Atacado con Nital al 2%. (a) Material original (b) Zona afectada térmicamente. Proceso de corte: Oxicorte. Magnificación en el microscopio: 500X .....	33
<b>Figura 37.</b> Acero A36. Atacado con Nital al 2%. (a) Material original (b) Zona afectada térmicamente. Proceso de corte por Plasma. Magnificación en el microscopio: 500X.....	33
<b>Figura 38.</b> Acero A108. Atacado con Nital al 2%. (a) Material original (b) Zona afectada térmicamente. Proceso de corte: Oxicorte. Magnificación en el microscopio: 500X.....	34

<b>Figura 39.</b> Acero A108. Atacado con Nital al 2%. (a) Material original (b) Zona afectada térmicamente. Proceso de corte por Plasma. Magnificación en el microscopio: 500X .....	34
<b>Figura 40.</b> Ensayo de dureza. ....	35



# ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>PÁGINA</b>
<b>Anexo 1.</b> Clasificación de los procesos de corte termico según AWS	43
<b>Anexo 2.</b> Equipo para corte por plasma	44
<b>Anexo 3.</b> Equipo de oxicorte	45
<b>Anexo 4.</b> Durometro pantec 2211P	46
<b>Anexo 5.</b> Microscopio electronico Olympus SC30	47
<b>Anexo 6.</b> Parametros de entrada y salida del proceso de PAC	48
<b>Anexo 7.</b> Parametros de entrada y salida del proceso de OFC	49
<b>Anexo 8.</b> Registro de pruebas de corte por plasma	50
<b>Anexo 9.</b> Registro de pruebas de corte por oxicorte	58

## RESUMEN

El desarrollo del presente trabajo de investigación con el título "Análisis comparativo térmico y estructural en aceros de hasta 6 mm de espesor cortados por plasma y oxiacetilénica aplicado en la industria automotriz", se inició con una investigación de campo para identificar los aceros más utilizados en la automoción. De esta búsqueda se obtuvo, que para la mayoría de los trabajos de carrocerías los aceros más comunes son el A36 y el ASTM A36 – ST37.2 (antideslizante). A lo anterior se añade que para trabajos específicos de alargamiento de chasis, alma de la viga y durmientes del chasis, el acero que se utiliza es el Acero ASTM A131 o acero naval como también se le conoce y en trabajos de reparación de engranajes, arboles, cigüeñales, piezas estampadas, partes de maquinarias así como en la construcción de pernos y remaches se utiliza el acero SAE 1045 o ASTM A108. Una vez identificados los materiales fueron cortadas las muestras por ambos métodos, posteriormente se tomaron las temperaturas en las zonas adyacentes al corte para luego realizar el análisis térmico. Después fueron preparadas las probetas para los ensayos de dureza y metalografía, los que dieron como resultado que la dureza varía dependiendo de la cantidad de carbono que contiene el material, del proceso térmico de corte y del tratamiento térmico del borde cortado. A nivel microestructural se observó que los aceros cortados por plasma presentan un refinamiento del grano en la zona afectada térmicamente, contrario al proceso del oxicorte que presenta un crecimiento de grano en la zona afectada. Finalmente con los datos obtenidos de los diferentes ensayos, se demostró que las zonas afectadas térmicamente (ZAT) por los procesos de corte presentan menor tamaño con respecto al método de plasma y una mayor área de afectación por el método de oxiacetilénica.

**PALABRAS CLAVES:** Plasma, oxicorte, microestructura, dureza, temperatura.

## ABSTRACT

The development of the present work of investigation with the title “Analysis comparative thermal and structural in steels of until 6 mm of thickness cut by plasma and oxyfuel applied in the automotive industry”, began with a field investigation to identify the steels more used in the automotive. From this search it was obtained, that for the majority of the car body works the most common steels are the A36 and the ASTM A36 - ST37.2 (anti-slip). To the above it is added that for specific works of elongation of chassis, soul of the beam and sleepers of the chassis, the steel used is Steel ASTM A131 or naval steel as it is also known and in repair work of gears, trees, crankshafts, stamped parts, parts of machinery as well as in the construction of bolts and rivets is used steel SAE 1045 or ASTM A108. Once the materials were identified, the samples were cut by both methods, then the temperatures were taken in the areas adjacent to the cut, and then the thermal analysis was performed. The test pieces were then prepared for the hardness and metallography tests, which resulted in the hardness varying depending on the amount of carbon contained in the material, the thermal cutting process and the thermal treatment of the cut edge. At the microstructural level it was observed that the steels cut by plasma present a refinement of the grain in the thermally affected area, contrary to the oxyfuel process that presents a grain growth in the affected area. Finally, with the data obtained from the different tests, it was shown that the thermally affected areas (ZAT) by the cutting processes have smaller size with respect to the plasma method and a greater area of involvement by the oxyfuel method.

**KEYWORDS:** Plasma, oxyfuel, microstructure, hardness, temperature.

## **1. INTRODUCCIÓN**

# 1. INTRODUCCIÓN

En la industria automotriz, a escala nacional, utilizan procesos de corte térmico, que consiste en la separación del metal base mediante la aplicación de altas temperaturas, para la realización de trabajos de fabricación, reparación y mantenimiento de las partes que componen un vehículo liviano o pesado (Hypertherm, 2017). Según la Sociedad Americana de Soldadura (AWS, por sus siglas en inglés), éstos se clasifican en diferentes categorías, como se observa en el Anexo 1. Los métodos de corte térmico más utilizados en la automoción nacional son el corte por plasma y el corte por llama oxiacetilénica.

Los aceros sometidos a estos sistemas de corte térmico presenta cambios en sus propiedades mecánicas y microestructurales, específicamente en los bordes y superficies anexas al corte, debido a que el acero está sometido a elevadas temperaturas de trabajo; como se desconoce la variación en cada caso, no se tiene seguridad de los resultados específicos en la aplicación del corte, además el metal también es soldado, cambiando aún más sus propiedades y por consiguiente la fiabilidad del material, lo que representa un riesgo para los usuarios. (García T. , 2015)

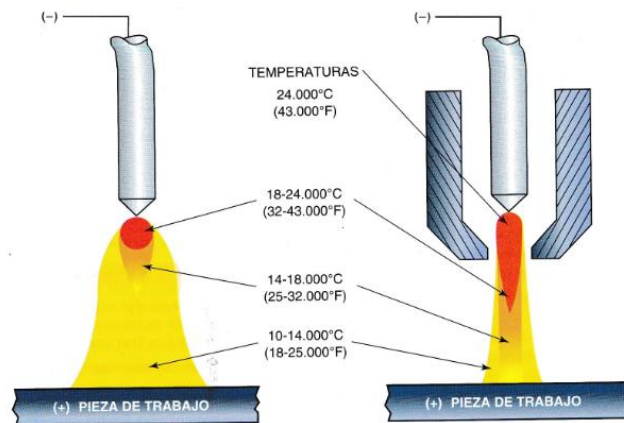
El desarrollo de la presente investigación, permite conocer el grado de afectación en la estructura y la alteración de las propiedades del acero al ser sometidos a oxicorte y corte por plasma, con la finalidad de reducir riesgos y trabajos de mantenimientos repetitivos, adicional se proporciona una fuente de información para los estudiantes y profesionales relacionados con la industria automotriz.

El objetivo general fue realizar un análisis comparativo térmico y estructural en aceros de hasta 6 mm de espesor cortados por plasma y oxiacetilénico aplicado en la industria automotriz. Para lograr cumplir con este objetivo fueron ejecutados cuatro objetivos específicos.

Se identificó los aceros más utilizados en los diferentes talleres de reparación automotriz, posteriormente se establecieron los ensayos destructivos y no destructivos a utilizar para el análisis térmico y estructural, a su vez se fabricaron probetas normalizadas para los respectivos análisis, luego se identificó los cambios térmicos y estructurarles en los bordes de los metales al ser cortado por plasma y oxiacetilénica, finalmente se realizó el análisis comparativo de los resultados entre estos dos métodos de corte.

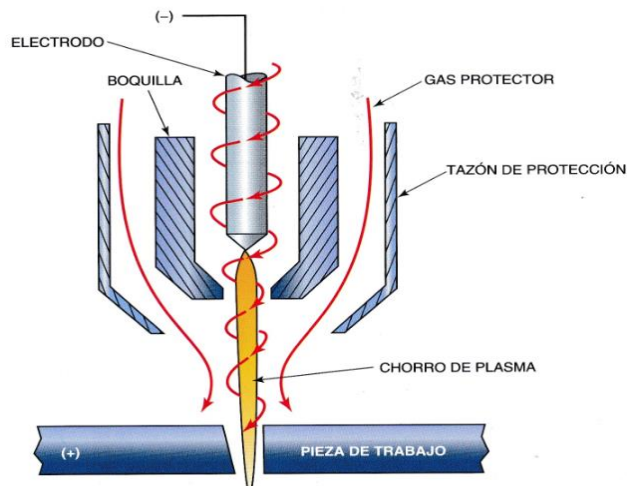
El método de corte por plasma (PAC por sus siglas en inglés), emplea un arco eléctrico que ioniza el gas y es proyectado a velocidad supersónica, con un alto grado de constricción contra la superficie del material base, causando la fusión de la zona a cortar y la expulsión por la parte inferior. El arco de plasma opera en un rango de temperatura de 10000 a 14000°C (18000 a 25000°F) como se muestra en la figura 1, y es generado por un electrodo (cátodo) dentro de la antorcha y la pieza de trabajo (ánodo). Por lo tanto, el proceso de corte por plasma depende de la capacidad de transferir el gas

plasma a la pieza y no genera ninguna reacción química, el equipo y la antorcha que conforman este sistema se detallan en el Anexo 2. (Calupiña & Oña, 2012)



**Figura 1.** Temperatura en el arco de plasma.  
(Jeffus, 2009)

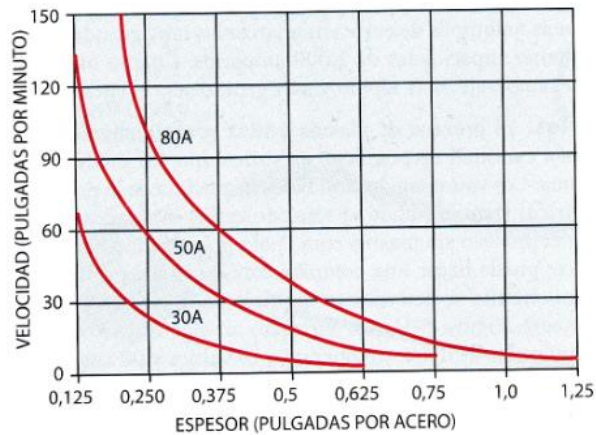
Los gases primarios que se aplican para crear el arco de plasma incluyen el aire, el nitrógeno, el argón, el hidrógeno o una mezcla de estos, y con frecuencia se utiliza gases secundarios o agua para enfriar los componentes. (Arcos & Fiallos, 2010) Como se muestra la figura 2.



**Figura 2.** Terminología del proceso PAC  
(Jeffus, 2009)

Por las altas temperaturas que posee este método se obtiene un avance de velocidad mayor. En la figura 3, muestra que a mayor espesor será mayor el amperaje pero su velocidad será más lenta y viceversa; a menor espesor, menor amperaje y mayor velocidad. Esta es una limitación por parte de este método de corte, debido a que depende circunstancialmente de una fuente de poder eléctrica y en lugares que no existe se quedara condicionado, así mismo se tendrá presente el espesor a cortar, por este motivo solo se aplica

para vehículos livianos y en ciertos trabajos en maquinaria pesada en condiciones y parámetros establecidos (Jeffus, 2009)



**Figura 3.** Perímetro de corte por arco de plasma.  
(Jeffus, 2009)

La velocidad para un corte mecanizado manual se aplica la ecuación (1)

$$V_c = \frac{\Delta D}{\Delta T} \quad [ 1 ]$$

$V_c$  = velocidad de corte

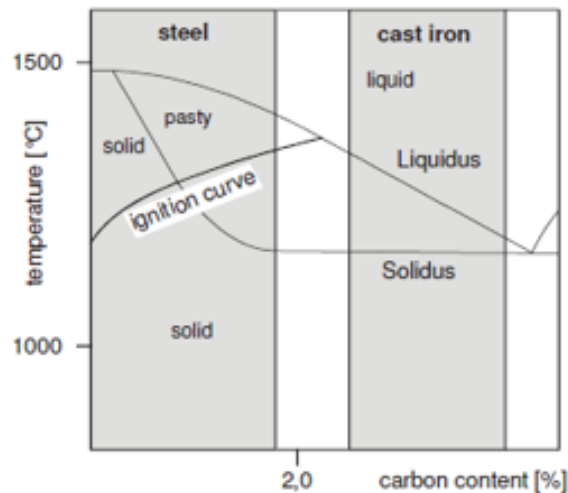
$\Delta D$  = variación de distancia

$\Delta T$  = Variación de tiempo

El sistema de corte por plasma se aplica para cortar casi cualquier metal eléctricamente conductor, con frecuencia se utiliza para aceros al carbono, acero inoxidable y aluminio. La influencia de la conductividad del material a cortar presenta afectación térmica, es decir, mientras mayor sea la conductividad térmica mayor será la zona afectada por el calor. (BAW, 2015)

El segundo método de corte es por llama oxiacetilénica (OFC por sus siglas en inglés) o también llamado oxicorte, es un proceso de corte por combustión, ya que mediante una antorcha especial como la que se muestra en el Anexo 3, mezcla gas y oxígeno para precalentar el metal, después dirige una corriente de oxígeno puro (más de 99.5%) en el área de corte. Este mecanismo se basa en la capacidad del oxígeno para reaccionar con el hierro hasta que alcanza su punto de ignición. (Arcos & Fiallos, 2010)

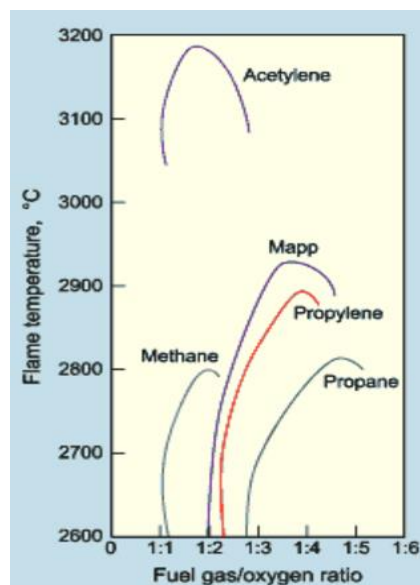
La temperatura de ignición es la mínima temperatura a que un metal debe ser calentado para iniciar una combustión que se sostenga por si misma independiente de las fuentes externas de calor y la temperatura de fusión es cuando el material pasa de estado sólido a estado líquido. La temperatura de ignición depende del contenido de carbono en el acero cortado, en la figura 4, se observa cuando el contenido de carbono aumenta, la temperatura de fusión se reduce. Esto significa que mientras el porcentaje de carbono incrementa la temperatura de ignición es superior a la temperatura de fusión. (ISF Aachen, 2005)



**Figura 4.** Diagrama de equilibrio de temperatura de ignición de Hierro-Carbono.  
(ISF Aachen, 2005)

Por este motivo está diseñado para cortar aceros de bajo contenido de carbono (entre 0,1% y 0,3%) y bajo contenido de aleaciones, también se utiliza para metales con aleaciones no ferrosas reactivas, como el titanio y magnesio, sin embargo aceros con aleaciones de alto contenido de níquel y el acero inoxidable no se puede cortar por este método. (Jeffus, 2009)

El oxicorte utiliza gases combustibles como el acetileno ( $C_2H_2$ ), el propano ( $C_3H_8$ ), el propileno ( $C_3H_6$ ), el metil-acetileno-propadieno ( $C_3H_4$ ) y el metano ( $CH_4$ ). Obteniendo con el acetileno una mayor concentración de calor entregado por la llama primaria. Ver figura 5

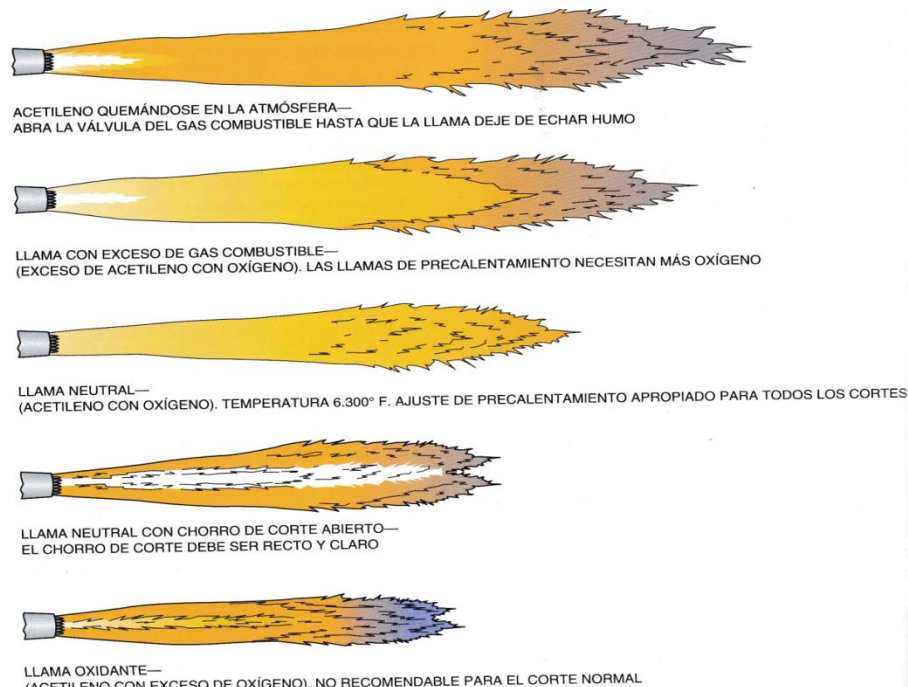


**Figura 5.** Temperatura de la llama y la relación.  
(Velasco, 2012)

El proceso de corte por llama está compuesta por dos etapas: el precalentamiento y arrastre de material.



En la fase de precalentamiento, en la antorcha se debe abrir primero la válvula de acetileno y luego de oxígeno consecutivamente, hasta equilibrar y obtener una llama de tipo neutral como se observa en la figura 6, el tiempo de duración del precalentamiento dependerá del espesor y tipo de acero. Al combinarse el acetileno y el oxígeno en el soplete forma una llama que alcanza los 6300°C, dejando así una superficie preparada para que pueda proceder al proceso de oxidación.



**Figura 6.** Ajuste de llama de oxiacetileno  
(Jeffus, 2009).

Al aumentar el aporte calorífico de la llama de precalentamiento, hasta alcanzar la temperatura de ignición, a continuación un flujo de oxígeno de alta presión es proyectado sobre la superficie, llegando a atravesar todo el espesor del metal base, generando la etapa de arrastre del material base. Esta fase genera un daño en mayor o menor medida, por lo que se recomienda que la ubicación del punto de precalentamiento se situé de 2 o 3 mm antes de la zona de corte. (García T. , 2015)

Como se menciona con anterioridad en los objetivos de la investigación, con el fin de identificar los cambios en el material luego de ser cortados por cada uno de los procesos se realiza un análisis térmico de cada probeta al momento de ser cortada y un análisis estructural posterior al corte.

El análisis térmico consiste en la comparación de la temperatura máxima que alcanza cada muestra a la hora de ser cortada, para lo cual se emplea una cámara termográfica como la que se muestra en la figura 7. La cámara termográfica o cámara térmica como también se le conoce, es una cámara

que muestra una imagen de radiación calorífica que emite un cuerpo en su pantalla. (Promax, 2017).



**Figura 7.** Cámara termográfica utilizada para las pruebas.

En general, la radiación emitida por un cuerpo es directamente proporcional a la temperatura del mismo. La radiación es invisible para el ojo humano y el espectro electromagnético se sitúa en el rango comprendido entre la luz visible y la radiación de microondas, o sea, la longitud de onda de los infrarrojos está situada entre las 0,7 y las 1000 micras.

Por esta razón, la cámara termográfica trabajan en un rango conocido como infrarrojo térmico dentro del amplio rango de margen, ya que es donde se encuentran las temperaturas más habituales en la superficie de la tierra, entre las 8 y las 14 micras, que equivale aproximadamente entre los -20 y 350 °C. Las cámaras térmicas poseen un sensor llamado microbolómetro que, el cual se calienta y cambia su resistencia eléctrica al recibir la radiación infrarroja. Dicho cambio de resistencia es medido y equiparado a una determinada temperatura, además es asignado un color a cada temperatura lo que forma la imagen coloreada que se observa en la pantalla. (Promax, 2017).

El análisis estructural por su parte consiste en estudiar las deformaciones y las características estructurales del metal para determinar los cambios producidos en el proceso de corte. Para ello se utiliza el microscopio metalográfico como se observa en la figura 8, para analizar las zonas afectadas térmicamente en la probetas que previamente fueron elaboradas y gracias a unos reactivos se observa e identifica mejor su composición estructural. (Millan Gomez, Metrologia y ensayos, 2012)

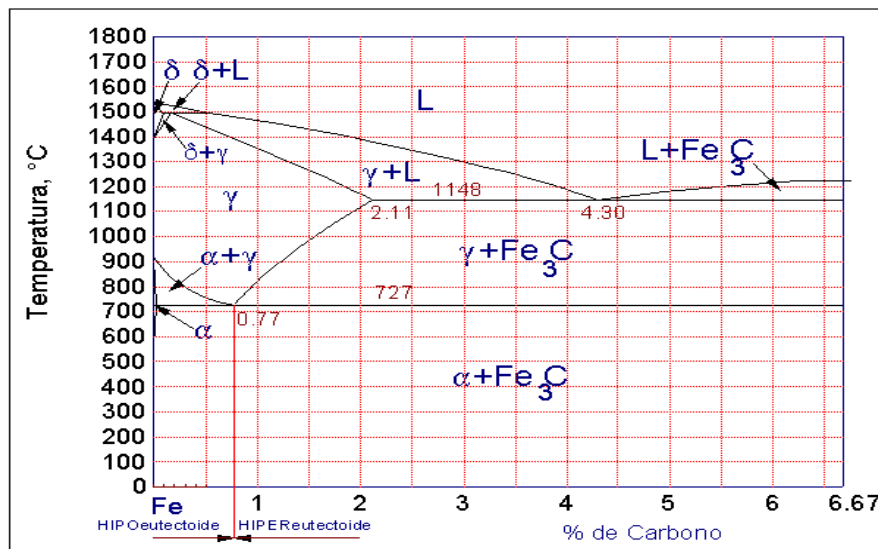
Su funcionamiento se basa en reflejar un haz de luz horizontal el que proviene de la fuente, esta reflexión se produce, a partir de un reflector de vidrio plano, orientado hacia abajo, a través de la mira del microscopio que se coloca sobre la superficie de la muestra.

Una parte de la luz incidente, que se refleja desde la superficie de la muestra es amplificada al pasar por el sistema inferior de lentes, esta llegará al objetivo y continuará hacia arriba pasando por el reflector de vidrio plano; luego, se amplificará de nuevo en el sistema superior de lentes (ocular).



**Figura 8.** Microscopio metalográfico utilizado para las pruebas.

Para entender los resultados que arrojan las imágenes capturadas a partir del microscopio y con ello los cambios que ocurren en la microestructura se revisó el diagrama hierro carbono, en el cual se representan el comportamiento de la aleación en función al porcentaje de carbono y la temperatura, esto permite conocer qué tipo de acero se va a obtener a partir de la aleación en función de la temperatura y la concentración de carbono, como se observa en la figura 9.



**Figura 9.** Diagrama Hierro – Carbono  
(Arcos & Fiallos, 2010)

Dónde:

L: Fase líquida

$\beta$ : Hierro beta

Ferrita o Hierro alfa ( $\alpha$ ): Es un compuesto cerámico ferromagnético que se encuentra en la zona sólida, a temperaturas inferiores a los 723°C y con un porcentaje de carbono entre el 0 y el 0.89, junto a la perlita, o entre el 0.89% y el 1.76% ya que en esta zona se encuentra tanto perlita como cementita, o

sea, como la perlita es una mezcla de cementita con perlita, estaría en ambas zonas.

Austenita o Hierro gamma ( $\gamma$ ) : Es el único componente que se encuentra en la fase líquida, su máximo porcentaje de carbono es de 2,11%. Es dúctil, banda, tenaz y no es ferromagnética a ninguna temperatura.

Cementita ( $Fe_3C$ ): Presenta una composición del 6.67% de carbono, este es un componente bastante duro, el más duro de los presentes en el acero al carbono. En cuanto a sus propiedades es frágil, sin posibilidad de alargamiento y de baja resistencia. Además se encuentra entre el 0% y el 1.76% de carbono al igual que la ferrita.

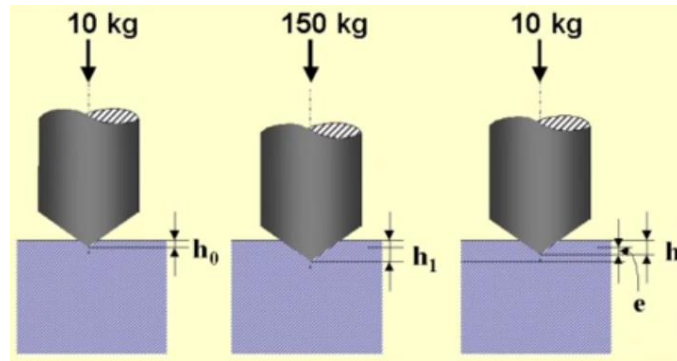
Para finalizar el análisis estructural, se realiza los ensayos de dureza a las probetas de los diferentes materiales cortados mediante el uso del durómetro como se muestra en la figura 10.



**Figura 10.** Durómetro utilizado para las pruebas.

La prueba de dureza consiste en aplicar a través de un elemento penetrador normalizado una fuerza, como se muestra en la figura 11, y dependiendo de la profundidad o tamaño de la huella que se obtenga luego de aplicar dicha fuerza, se obtendrá el grado de dureza del material. De esta manera se conoce la resistencia al corte de la superficie que tiene el material que se analiza.

Existen varios tipos de ensayos con durómetros, siendo el más práctico el ensayo de Rockwell. La dureza Rockwell mide la resistencia de un material a ser penetrado, posee dos tipos de escalas: escala tipo B y escala tipo C. En la escala B, se aplica un penetrador esférico de acero templado y de una superficie finamente pulida. El diámetro de la esfera es de  $1,588 \text{ mm} \pm 0,0035$ , útil para escalas F y G. En la escala C, se aplica un penetrador de forma cónica y con una punta de diamante, de un ángulo de  $120^\circ$  y la terminación del cono será de forma casquete esférico, con un radio de  $0,2 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$ , este tipo de penetrador se aplica para escalas A y D.



**Figura 11.** Ejemplo de ensayo de dureza Rockwell.  
(Universidad Politécnica de Valencia-UPV, 2011)

Para calcular la dureza Rockwell se utiliza la ecuación 2:

$$e = \frac{h_f - h_0 \text{ (mm)}}{\frac{0,002 \text{ (mm)}}{1 \text{ (UR)}}} \quad [2]$$

En donde

$e$  = espesor en U.R. (unidad Rockwell)

$h_f$  = Altura final

$h_0$  = Altura inicial

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 OBJETIVO GENERAL

- Analizar los efectos térmicos y estructurales en aceros de hasta 6 mm de espesor cortados por plasma y oxiacetilénicos aplicados en la industria automotriz.

### 1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los cambios estructurales y el efecto térmico de los aceros utilizados en la industria automotriz.
- Establecer los ensayos destructivos y no destructivos para el análisis térmico.
- Construir probetas normalizadas para el análisis del efecto térmico y estructural.
- Analizar y comparar los resultados obtenidos en las probetas.

## **2. METODOLOGÍA**

## 2. METODOLOGÍA

En la presente sección se describe la metodología utilizada para alcanzar los objetivos propuestos. Para lograr el primer objetivo planteado se realizó un estudio bibliográfico, con la finalidad de obtener información sobre parámetros, aplicaciones y procedimientos de operación, relacionados a los cortes térmicos según la AWS. De igual manera se identificó las propiedades mecánicas y microestructurales de los aceros, sus tratamientos térmicos y las alteraciones producidas en el material por los sistemas de corte empleados. También se describe ensayos destructivos y no destructivos con sus respectivas normas técnicas y las especificaciones de las probetas normalizadas, obteniendo resultados necesarios para el análisis comparativo entre cada uno de los procesos de corte, con la finalidad de conocer cuál es el método de corte más adecuado para la aplicación en la industria automotriz y con ello concluir este proyecto investigativo.

En un inicio se parte del método investigativo con el estudio de los principales aceros que se utilizan en los talleres de reparación automotriz, mediante la búsqueda bibliográfica se obtuvo que para la mayoría de los trabajos de carrocerías los aceros más comunes son el A36 y el ASTM A36 – ST37.2 (antideslizante).

Dada la necesidad de obtener datos más precisos fue realizada una observación experimental en cinco talleres dedicados a la fabricación y modificación de carrocerías, talleres automotrices para vehículos livianos, y maquinaria pesada, adicional a esto fueron consultados un total de diez distribuidores de aceros con el fin de identificar los aceros más utilizados en la automoción. La visita a los talleres reflejó que estos aceros están presentes en un 60% de los trabajos de reparación realizados diariamente.

A lo anterior se añade que para trabajos específicos de alargamiento de chasis, reparación del alma de la viga o chasis y durmientes, el acero que se utiliza es el Acero ASTM A131 o acero naval como también se le conoce y en trabajos de reparación de engranajes, arboles, cigüeñales, piezas estampadas, partes de maquinarias así como en la construcción de pernos y remaches se utiliza el acero SAE 1045 ò ASTM A108.

A partir de los datos anteriores y de las entrevistas realizadas a los proveedores se confirmó que los materiales anteriormente mencionados se encuentran entre los 10 ítems más vendidos, por lo cual se estableció que estos serán los materiales utilizados para llevar a cabo la presente investigación. Mediante una revisión bibliográfica se identificó las propiedades de los aceros, tratamientos térmicos, diagrama Fe-C, y los efectos térmicos que producen los métodos de corte.

Para alcanzar el segundo objetivo se realizó una investigación sobre los ensayos térmicos y estructurales posibles de realizar con el fin de obtener

datos que fundamenten las diferencias que provocan los procesos de corte térmico en el borde del material. Para el análisis térmico se estableció el empleo de una cámara termográfica modelo Fluke Ti110 obteniendo datos de temperatura en tres puntos determinados en el material base y para el análisis estructural se aplicó dos tipos de ensayos; el primero de dureza utilizando un durómetro modelo Pantec 2211P, como se observa en el Anexo 4 y el metalográfico para el cual se utilizó un microscopio Olympus SC30 descrito en el Anexo 5

El tercer objetivo fue alcanzado al determinar que serán cuatro aceros a estudiar, a los cuales se les aplicó los dos métodos de corte térmico, dando como resultado ocho muestras y de estas la obtención final de ocho probetas. A continuación se procedió a codificar cada una de ellas y las dimensiones para cada tipo de ensayo.

Es válido aclarar que fueron tomados en cuenta los espesores que conforman la estructura de un vehículo.

Antes de efectuar los cortes fueron definidos los parámetros de entrada y salida, como se observa en el Anexo 6 y Anexo 7, así como los procedimientos a seguir para obtener una buena calidad de corte en base a la Norma ISO 9013, también se aplicó la Norma NTE INEN 2266 (2010) para transporte, almacenamiento y manejo de materiales peligrosos y el Manual de Seguridad y Cumplimiento 806693. Para la ejecución de los ensayos de corte se utilizaron dos métodos; el primero por plasma, con el equipo Hypertherm 45, descrito Anexo 2, mientras que el segundo por llama oxiacetilénica utilizando el equipo de corte marca Victor Journeyman II, encontrándose detallado en el Anexo 3.

Para la obtención de las primeras muestras de cada acero, se ejecutó los ensayos de corte térmico, dando como resultado información sobre la calidad, existencia de escoria, apariencia superficial y la velocidad de corte que se obtuvo aplicando la ecuación (1). Durante el proceso de corte de cada muestra, se utilizó la cámara termográfica para obtener datos de variación de temperatura necesarios para el análisis térmico.

Luego de las muestras obtenidas, se elaboraron las probetas para realizar los ensayos metalográficos y de dureza respectivamente. El ensayo metalográfico permite determinar el tamaño del grano, las diferentes partículas incluidas en los aceros y los diferentes cambios sufridos en cada caso, tanto en la probeta como en el ensayo metalográfico se aplicó la Norma ASTM E3-0: Práctica estándar para la preparación de muestras metalográficas, y para el ensayo de dureza la escala Rockwell tipo B en tres puntos diferentes de la probeta, se calculó utilizando la ecuación (2) ya programada en el durómetro y bajo la norma ASTM E18.



Cumpliendo con el cuarto objetivo, con todos los datos recopilados en las diferentes técnicas ejecutados, fueron registrados y tabulados, con el fin de realizar el análisis y la comparación de los métodos de corte térmico y determinar cuál fue el adecuado dependiendo el acero establecido y cuanto fue la alteración de sus propiedades, su microestructura y el grado de afectación a su estructura.

Se procedió a redactar las conclusiones en las cuales se reflejan las diferencias que existen en el acabado y las transformaciones que sufre el metal según el método de corte empleado, así como la influencia que tienen las características del material en la elección de dichos métodos. Finalmente fueron redactadas las recomendaciones con el fin seguir profundizando en el tema de investigación.

### **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La presente sección tiene como objetivo realizar el análisis y la comparación de los resultados obtenidos en los ensayos termográficos, metalográficos y de dureza, en aceros de 5 mm de espesor cortados por plasma y oxiacetilénica. Los resultados demostraron los cambios en las propiedades, tamaño de grano, calidad de corte, costos relacionados a cada proceso, zonas afectadas térmicamente, con el fin de establecer cómo influyen los distintos procesos sobre cada material y cuál de los procesos de corte térmico es el más recomendable en la automoción.

#### 3.1 SELECCIÓN DE MATERIALES

Como parte inicial del trabajo investigativo se realizó la respectiva visita técnica en las siguientes empresas: Taller de enderezada y pintura “La Isla”, “Carrocerías Cedeño”, Taller de equipo pesado “Gallito”, DIPAC, Aceros Bohler, para identificar y determinar los aceros que se aplican con mayor frecuencia en la industria automotriz, y se describen a continuación las propiedades de cada uno de ellos.

##### 3.1.1 ACERO ASTM A-36

Este tipo de acero es el más utilizado en los talleres de reparación automotriz. Se conoce también como acero estructural, es laminado en caliente, con una aleación que presenta niveles de carbono del 0,2% y del 0,3%, por esta razón es fácil el proceso de moldeo. Su denominación está dada por la ASTM (por sus siglas en inglés American Society for Testing and Materials), ver tabla 1.

**Tabla 1.** Composición química y propiedades mecánicas del acero ASTM A-36

Norma	Composición Química							Propiedades Mecánicas				
	% C	%MN	%P	%S	%SI	%CU	OTROS	Fluencia (Mpa)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Alargamiento %	Doblado 180°	Norma Equivalente
A 36	0,25 0,29	0,80 1,2	0,04 max	0,05 max	0,4 max	0,20 max		250 min	400 min 550 max	20 min		ASTM A-36

(DIPAC, 2015)

Este tipo de acero se utiliza frecuentemente para la construcción de plataformas, contenedor, suspensión, carrocerías, largueros del chasis, balde de las volquetas, así como para conformar estructuras de maquinaria pesada, tanque de almacenamientos, y cualquier reconstrucción de elementos automotrices. Ver figura 12.



**Figura 12.** Fabricación y reparación de carrocerías y chasis

### 3.1.2 ACERO ASTM A131

También es conocido como acero naval, posee una gran resistencia a la corrosión, al desgaste por abrasión, impacto y deslizamiento, la norma de fabricación es NTE INEN 115. Disponible en presentación de acero negro y disponibles en espesores de 4mm a 15mm, como se especifica en la tabla 2.

**Tabla 2.** Composición química y propiedades mecánicas del acero ASTM A131.

Descripción	COMPOSICION QUIMICA %					PRUEBAS MECANICAS				PRUEBA DE FLEXIBILIDAD		
	C max	Si	Mn	P max	S max	Resistencia Mecánica psi (kgf/mm2)	Punto de Fluencia psi (kgf/mm2) min	Elongación		Espesor en (mm)	Angulo de doblado	Radio de Curva Díametro del espesor de la Muestra
								Muestra in.(mm)	% min			
Grade A				0,04	0,05	58,000(40,8) ~ 71,000 (49,9)	32,000(22,5)	GL = 8(200)	21	3/4(19.1) y menores	180°	3
Grade B	0,21		0,80~1,10	0,04	0,05							
Grade C	0,23	0,15~0,30	0,60~0,90	0,04	0,05							
Grade CS	0,18	0,15~0,30	1,00~1,35	0,04	0,05							
Grade E	0,18	0,15~0,30	0,70~1,35	0,04	0,05							
Grade R	0,24		0,60~0,90	0,04	0,05							
							GL = 2(50)	24	Sobre 3/4 to 1 1/4 (31.8), incl. Sobre 1 1/4			3

(DIPAC, 2015)

Este acero forma parte de piezas que requiere gran resistencia a la corrosión y a la fricción; por ejemplo en estructuras como la placa toma fuerza, superficie que se encuentra acoplada a la quinta rueda o tortuga del cabezote, y en el alma de la viga del chasis, ver figura 13, empleados en la fabricación de cucharas de máquinas cargadoras, tolvas de volquetas, prensas de chatarras.

Este acero es recomendable para la elaboración de tanques de combustible, elementos que estén expuesto al sol y a la corrosión, solo se encuentran en espesor de hasta 5mm, por tal razón se aplica a elementos de maquinaria pesada, tráiler y camiones que soportan condiciones extremas. En los vehículos livianos no es tan común su aplicación.



**Figura 13.** Placa toma fuerza

### 3.1.3 ACERO ASTM A108

Conocido como SAE 1045, este acero es de fácil soldabilidad, es utilizado en la automoción, en estructuras que necesiten dureza y tenacidad, responde fácilmente a tratamientos térmicos. Como se indica en la tabla 3. Se aplica en estructuras y elementos como manivelas, chavetas, pernos, bulones, engranajes, árbol de bielas, cigüeñales, herramientas agrícolas y partes de maquinaria pesada.

**Tabla 3.** Composición química y propiedades mecánicas del acero ASTM A108

SAE 1045	COMPOSICIÓN QUÍMICA								PROPIEDADES MECÁNICAS					
	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	Estado del material	Resistencia a la tracción Kg/mm	Límite Elástico Kg/mm	Alargamiento %	Reducción de área %	Dureza Brinell aprox.
	0.43/0.50	0.60/0.90	0.04 max.	0.04 max.	0.15/0.35					Laminado en caliente	60	38	16	40
									Calibrado	65	54	10	35	220
									Normalizado	58	34	14	40	230
									Temple y Revenido	75/90	50	16	40	250

(Reyclo, 2016)

### 3.1.4 ACERO ASTM A36-ST37.2

Este acero también se lo conoce como acero antideslizante, su norma de fabricación es NTE INEN 115, con calidad ASTM A36. Está disponible en el mercado con presentación de acero negro, se encuentra de 2mm a 8mm de espesor. (DIPAC, 2015)

Es especialmente para rampas, gradas, acabados arquitectónicos. Este tipo de acero es común su aplicación, es muy versátil por su soldabilidad y su superficie. Es aplicado en pisos de carrocerías, recubrimientos de paredes, accesorios automotrices, recubiertos de interiores en unidades móviles como buses y foodtruck, para la elaboración de elementos que conforma una plataforma, guardachoques frontal y posterior, cajas de herramientas. Ver figura 14.



**Figura 14.** Fabricación y reparación de plataformas

### 3.2 OBTENCIÓN DE LAS MUESTRAS

Para llevar a cabo la presente investigación fue necesaria la preparación de muestras y posteriormente de probetas que se utilizaron en los diferentes ensayos de laboratorio. El primer paso fue obtener muestras de los materiales seleccionados en los talleres y distribuidoras de aceros para trabajos de metalmecánica en general. Una vez obtenidas las planchas de cada material se ejecutó el método por plasma seguido del corte oxiacetilénico como se muestra en la figura 15.



**Figura 15.** Corte de las muestras, a) plasma, b) oxicorte

Obteniendo un total de 8 muestras como se observa en la figura 16 que aparecen a continuación, en esta etapa se codifica las muestras para evitar equivocaciones y para facilitar el manejo.

Se debe tener en cuenta que cuando se realiza los ensayos de corte se procede a realizar la prueba con la cámara térmica para registrar la distancia de afectación por el calor y la temperatura que está expuesta el acero.



Figura 16. Muestras de los aceros seleccionados.

### 3.2.1. PROCEDIMIENTO DE OXICORTE

- 1. Revisión equipo:** En este paso se controla que el personal efectuó las labores de corte debe utilizar el equipo de protección personal correspondiente. Además se verifica la no existencia de materiales inflamables en el área antes de realizar algún corte o soldadura, así mismo se prohíbe trabajar con tambores utilizados para almacenar aceites, combustibles o cualquier tipo de líquidos inflamables. Se deberá disponer de un equipo de protección contra incendio como es el caso de un extintor operativo, listo para usarlo en cualquier lugar en donde se esté realizando una operación de soldadura.
- 2. Preparar área de trabajo:** Es necesario mantener libre de material que se pueda prender producto de la proyección de partículas incandescentes en el área de trabajo. Además esta área debe permanecer ordenada y libre de obstáculos. La plataforma de trabajo debe ser segura ya demás deberá cumplir todos los requisitos que permitan un corte o soldadura de calidad. Antes de usar las escalas, deberán ser revisadas. Las escalas deberán ser revisadas antes de usar, además no deberá sobrepasar un metro el punto de apoyo superior.
- 3. Corte de metales:** Para este paso lo primero que se realiza ubicar a un costado de los cilindros los reguladores antes de abrirlos, fuera de la dirección del gas. Luego se enciende el soplete utilizando un chispero, como se observa en la figura 17. Al encender el soplete, se abre la válvula del cilindro del combustible gaseoso en el soplete, y posteriormente se abre la válvula de oxígeno. Es importante asegurarse de que la segunda fase del regulador esté completamente cerrada antes de abrir la válvula del cilindro de oxígeno. Según la norma UNE-EN ISO 9013:2017 Corte térmico. Clasificación de los cortes térmicos, se utilizó para comprobar la calidad de corte.

**4. Transporte cilindros:** Con el fin de manipular los cilindros con mucho cuidado para este paso también se tomaron en cuenta las especificaciones de la norma NTE INEN 2266 (2010), en la cual se establece que ninguno de los componentes de los equipos de oxicorte, deben lubricarse con algún elemento derivado del petróleo, deben ser cerradas. Los manómetros (reguladores) deben estar en perfectas condiciones así como las válvulas y boquillas las cuales deberán ser cerradas cuando las unidades de oxígeno y acetileno no estén en uso. Por otra parte se debe verificar que no existe fuga de gas revisando los acoplamientos. No se deben manipular los accesorios (conexiones, manómetros, etc.) con las manos o guantes impregnados con grasas o aceites. Al terminar el trabajo, las mangueras y reguladores deben desconectarse de los cilindros y guardarlos en un lugar limpio y los cilindros de gases deberán trasladarse de manera vertical en un carro diseñado para este propósito.



**Figura 17.** Verificación del estado del equipo

Las especificaciones de los parámetros utilizados para este tipo de corte son las siguientes y fueron seleccionadas a partir de la tabla 4.

**Tabla 4.** Calibración de presiones para boquillas de oxicorte.

Espesor a cortar (mm)	Boquilla N°	Presión Acetileno Psi	Presión Oxígeno Psi
1.6-4.6	000	5 – 15	15-30
4.6-10	00	5 – 15	20-35
10-16	0	5 - 15	30-40
16-25	1	5 – 15	35-50
25-50	2	5 – 15	40-55
50-75	3	5 – 15	45-60
75-150	4	5 – 15	50-75
150-200	5	5 – 15	65-80
200-300	6	5 – 15	70-90

(GRUPO INFRA, 2015)



### 3.2.2. PROCEDIMIENTO DE CORTE POR PLASMA

En este caso los pasos a realizar serían los mismos que para el oxicorte:

**1. Revisión equipo:** Para el caso de los equipos de plasma es esencial la verificación del estado de limpieza interior, atendiendo de forma especial a las zonas de equipo electrónico y grupo de potencia. Además se debe limpiar la carcasa, así como, elementos exteriores e interiores con aire comprimido cuidadosamente para eliminar el polvo y la suciedad. Luego se debe comprobar el estado de los cables de alimentación y de los cables de control entre fuente de corriente y cabezal y/o mandos portátiles (cortes, falta de aislamiento, sección adecuada. Por último se valora la flexibilidad, aislamiento externo y correctas conexiones a los elementos correspondientes, siguiendo las especificaciones del Manual de Seguridad y Cumplimiento 806693 Revisión 5 – Septiembre de 2017.

**2. Preparar área de trabajo:** Según la norma ISO 9013 es necesario mantener libre de material que se pueda prender producto de la proyección de partículas incandescentes en el área de trabajo. Además esta área debe permanecer ordenada y libre de obstáculos con el fin de que la plataforma de trabajo sea segura.

**3. Corte de metales:** encender el equipo y luego comprobar que el flujo de gas plasma sea suficiente. Es necesario verificar que sea suficiente de igual forma el flujo de refrigerante ya sea gas o agua. Por último se aplica una técnica de perforación correcta.

Las especificaciones de los equipos son las siguientes y fueron seleccionadas a partir de la tabla 5.

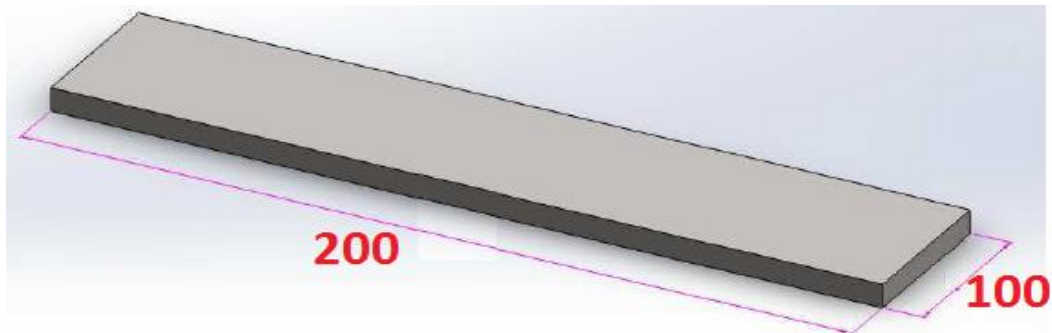
**Tabla 5.** Valores de voltaje para el corte en función del espesor.

Espesor del material	Distancia de trabajo	Altura inicial de perforación		Tiempo de retardo	Mejor configuración de calidad		Configuración de producción		
					Velocidad de corte	Voltaje	Velocidad de corte	Voltaje	
mm	mm	mm	%	segundos	(mm/min)	(V)	(mm/min)	(V)	
3	1.5	3.8	250	0.2	5200	125	6100	123	
4				0.5	4250	125	5100	124	
6					2550	127	3240	127	
8				1700	129	2230	128		
10		4.5	300	0.7	1100	131	1500	129	
12				1.2	850	134	1140	131	
16		6.0	400	2.0	560	138	650	136	
20		Inicio de borde				350	142	450	142
25						210	145	270	145

( Technical Service Hypertherm Inc., 2015)

### 3.2.3 DIMENSIONES DE LAS MUESTRAS

No existe ninguna norma técnica específica para la elaboración de las muestras para los ensayos de corte térmico, ya sea mediante plasma u oxiacetilénico, por tanto se eligen las siguientes dimensiones mostradas en la figura 18 las cuales fueron elegidas en base a la experiencia de ensayos realizados durante la carrera.



**Figura 18.** Dimensiones de la muestra en mm.

Es válido aclarar que durante los procedimientos de corte se realizaron las mediciones de temperaturas utilizando una cámara termográfica. Dichas mediciones fueron comprobadas a su vez usando un pirómetro.

### 3.3 ANÁLISIS DE LAS ZONAS AFECTADAS

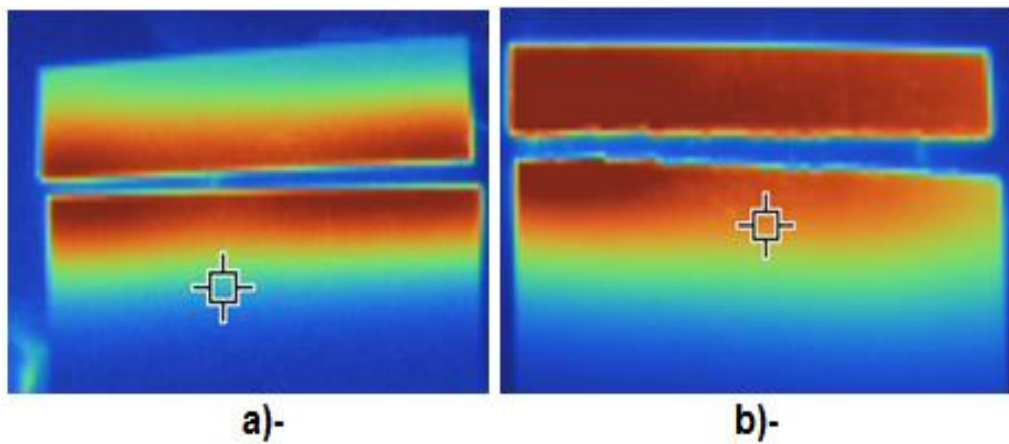
La reacción de los aceros ante los diferentes procedimientos de corte térmico es uno de los temas más amplios dentro de la ciencia de los materiales, ya que, la aportación de calor que trae consigo cualquiera de los procesos de corte térmico produce importantes cambios específicos en función de la temperatura y de cada aleación.

Durante los procedimientos de corte, el acero es modificado de manera que se beneficie o se perjudique a consecuencia de la operación de corte.

Durante dichos procesos tanto la zona de corte como las adyacentes más cercanas son calentadas y enfriadas; por lo cual experimentan un tratamiento térmico, provocando un cambio a su microestructura. En varias ocasiones el metal queda templado o frágil, además suele suceder el agrietamiento durante el enfriamiento, mientras que en otros casos el material es recocido o ablandado.

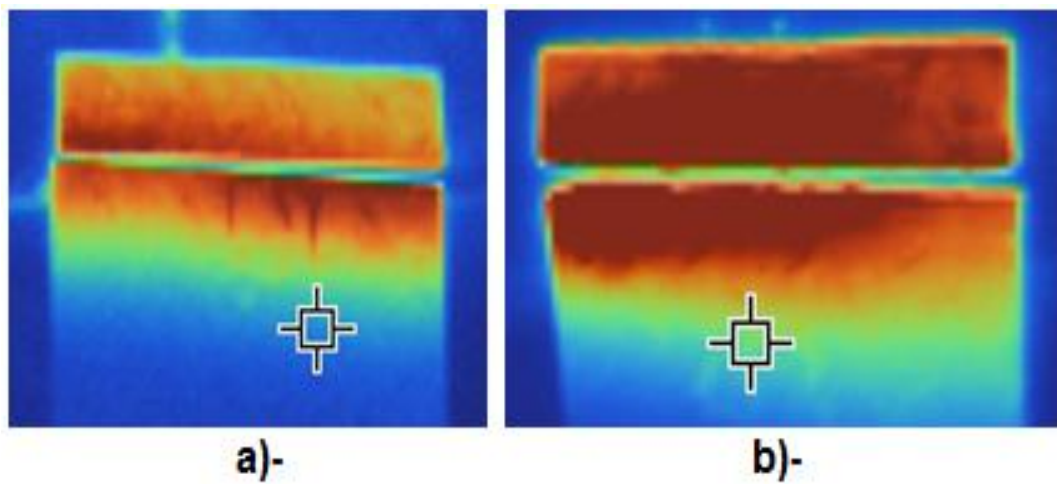
Estos efectos pueden ser deseados o no teniendo en cuenta las aplicaciones. Al observar las figuras de la 19 a la 22, se indica un análisis de

la afectación ocurrida según el tipo de corte para cada material.

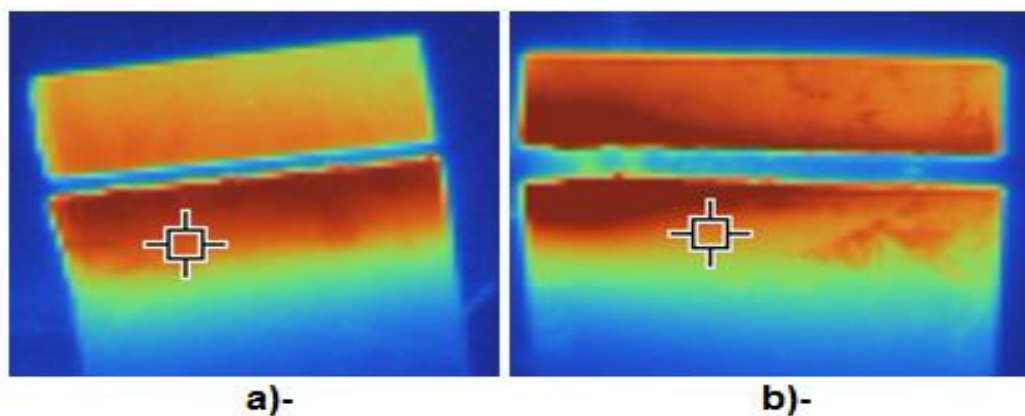


**Figura 19.** Zona afectada térmicamente, Acero A108, a)- Corte por plasma, b)- Oxicorte.

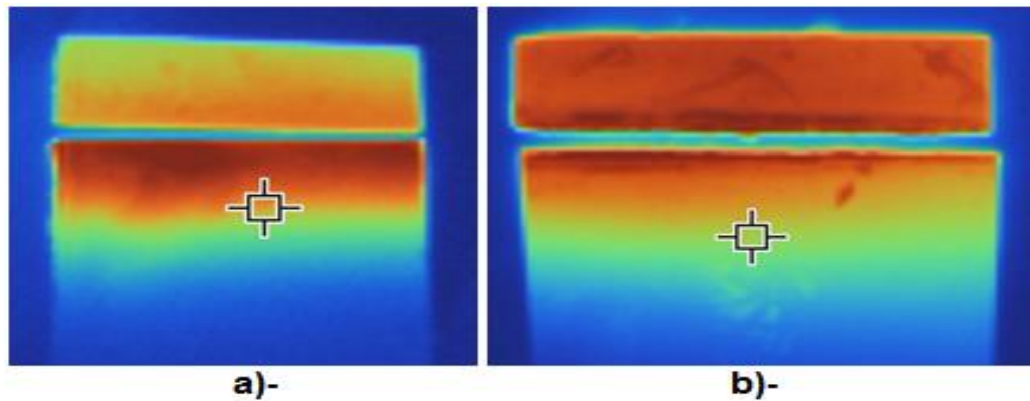
Las figuras indican que en todos los casos existe una zona de afectación ya sea en menor o mayor medida dependiendo del caso.



**Figura 20.** Zona afectada térmicamente Acero A36 - ST37.2, a)- Corte por plasma, b)- Oxicorte.



**Figura 21.** Zona afectada térmicamente Acero A131, a)- Corte por plasma, b)- Oxicorte.



**Figura 22.** Zona afectada térmicamente Acero A36, a)- Corte por plasma, b)- Oxicorte.

En la tabla 6, se presentan las temperaturas alcanzadas por las zonas afectadas por el calor durante el corte, para ello se realizaron tres mediciones en tres puntos de la zona, adyacentes al corte. Donde la medición 1 fue realizada a 2cm del borde, la medición 2 a 4 cm del borde y la medición 3 a 7cm del borde del corte.

**Tabla 6.** Mediciones de temperatura tomadas por la cámara térmica.

Probeta	Oxicorte			Plasma		
	Medición 1 (°C)	Medición 2 (°C)	Medición 3 (°C)	Medición 1 (°C)	Medición 2 (°C)	Medición 3 (°C)
A36	217.5	180.4	45.2	99.5	72.7	34.3
A36 – ST37.2	290.0	252.4	44.0	68.4	51.4	34.5
A131	278.0	129.0	54.0	104.2	79.6	40.6
A108	304.0	155.1	63.0	67.7	54.4	33.0

De la tabla anterior se obtiene que en el proceso de oxicorte las temperaturas de la zona afectada sean mayores a las temperaturas obtenidas a partir del corte por plasma. Además si se combinan los resultados obtenidos de la comparación de las figuras con los resultados de la tabla se concluye que independientemente del proceso, la cantidad de calor que ingresa en el metal cortado es inversamente proporcional a la velocidad de corte.

La ejecución de este ensayo no destructivo estuvo regida por la norma ISO 18434:2008: Condición de vigilancia y diagnóstico de máquinas - Termografía. Esta norma es vital para llevar a cabo estudios termográficos ya que recoge la condición de vigilancia y diagnóstico de la termografía proporcionando una introducción a la aplicación de la termografía infrarroja. Además, describe los distintos procedimientos y criterios para evaluar los resultados obtenidos luego de realizar este procedimiento así como los métodos y requisitos necesarios para la ejecución de este tipo de actividad

recomendaciones de seguridad, formas de interpretar los datos y requisitos de presentación de informes. El procedimiento seguido en este caso se divide en los siguientes pasos:

1. Definir la tarea
2. Realizar una inspección inicial para verificar el funcionamiento del equipo
3. Iniciar la inspección
4. Análisis y creación de informes

### 3.4 CALIDAD DE CORTE

Para evaluar la calidad de corte se apoya en la inspección visual luego de realizar los cortes térmicos, para ello se toma en cuenta la apariencia superficial de las muestras prestando especial atención a la presencia de defectos como son la escoria adherida, etc., estas características se aprecian en las figuras de la 23 a la figura 26.



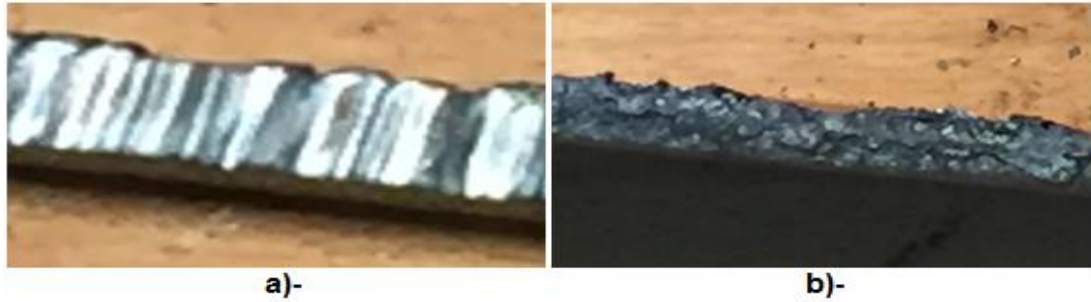
**Figura 23.** Acero A108, a) corte por plasma, b) corte oxiacetilénico.



**Figura 24.** Acero A36 - ST37.2, a) corte por plasma, b) corte oxiacetilénico.



**Figura 25.** Acero A131, a) corte por plasma, b) corte oxiacetilénico.



**Figura 26.** Acero A36, a) corte por plasma, b) corte oxiacetilénico.

En las figuras anteriores se observa que para todos los casos el acabado que deja el corte por plasma es notablemente mejor que el acabado del corte realizado con oxicorte.

Por otro lado también se observa las características específicas como son la presencia de escoria y el socavado, estas características se reflejan en la tabla 7 que se muestra a continuación, la cual permite comparar los valores alcanzados por los diferentes criterios en función del material y el procedimiento empleado.

La norma utilizada para evaluar los parámetros de calidad de corte reflejados fue la ISO 17658: 2015 Soldadura: imperfecciones en los cortes de llama de oxicorte, cortes de rayo láser y cortes de plasma – Terminología. Esta norma define los términos de las posibles imperfecciones consecuencias de corte por oxicomustible, rayo láser y cortes de plasma en materiales metálicos que se recogen y agrupan. La misma agrupa el tipo, la forma y la ubicación de estas pero no se dan las condiciones ni las causas de origen, además no se proporciona información sobre la evaluación y las consecuencias de las imperfecciones mencionadas anteriormente porque esto depende de los requisitos específicos del trabajo.

**Tabla 7.** Parámetros de calidad de cortes.

Muestra	Espesor (mm)	Apariencia Superficial	Bordes	Escoria	Velocidad (mm/s)
P A36	5	Plano	Cuadrado	Si	2.7
P A36-ST37.2	5	Plano	Cuadrado	Si	3.7
P A131	5	Plano	Cuadrado	Si	2.8
P A108	5	Plano	Cuadrado	Si	4.0
O A36	5	Plano	Socabado inferior	Si	10.5
O A36-ST37.2	5	Plano	Socabado inferior	Si	11.1
O A131	5	Plano	Socabado inferior	Si	10.0
O A108	5	Plano	Socabado inferior	Si	10.0

Al analizar todos los parámetros que se muestra en la tabla 7, se observa que en todos los casos hay presencia de escoria, adicional a esto existe presencia de socavado inferior a proceso por oxicorte. También es notable el incremento en la velocidad de corte en los ensayos realizados por plasma.

### 3.5 PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS

De las ocho muestras obtenidas en un primer momento fueron cortadas las probetas con una següeta, con la finalidad de no alterar su estructura interna y diferenciar las zonas afectadas térmicamente, como se muestra en la figura 27.

Se realizó la codificación de las probetas con la misma asignación de las muestras obtenidas anteriormente. Para la elaboración de las probetas se tomó en cuenta la norma que utilizan en el laboratorio de resistencia de materiales de la Escuela Politécnica Nacional.



Figura 27. Corte de las probetas.

#### 3.5.1 DIMENSIONES DE LAS PROBETAS

Se procedió a la elaboración de las probetas para los ensayos destructivos y no destructivos en base a la Norma ASTM E3-0: Práctica estándar para la preparación de muestras metalográficas, por lo tanto se realizó un corte de forma transversal, tomando como referencia los moldes ya existentes en el laboratorio con las siguientes dimensiones mostradas en la figura 28 y figura 29.

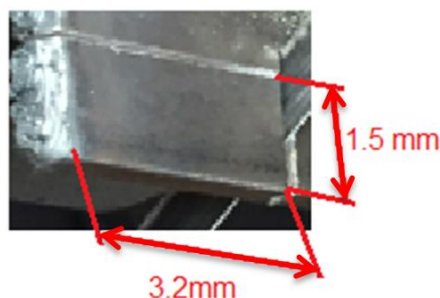


Figura 28. Dimensiones de las probetas



Figura 29. Moldes de preparación de probetas.

### 3.5.2. CODIFICACIÓN DE LAS PROBETAS

Para la ejecución de los ensayos de corte térmico en cada material se designó una identificación para facilitar el manejo y registrar los resultados obtenidos en cada ensayo.

Designación de las probetas: **P M – e**

Dónde:

P= Proceso de corte: O=OFC. P=PAC

M= Material

e= Espesor

Luego las probetas fueron montadas en los moldes para ser preparadas con resina de rápido enfriamiento como se muestra en la figura 30, lo que permite realizar los análisis de laboratorio en frío.



Figura 30. Preparación final de la probeta.



### 3.6 ANÁLISIS METALOGRAFICO

El análisis metalográfico consiste en la realización de un estudio de la microestructura de un material, esto tiene por objetivo conocer determinadas características de la aleación en cuestión, como son: el tamaño de grano, las fronteras de granos, así como, fase o fases características de cada material. Los ensayos fueron realizados a las mismas probetas utilizadas en el ensayo de dureza con el fin de observar la calidad del corte de cada material según el proceso utilizado.

El resultado que se desea conocer son los cambios que surgen en cada material en la zona afectada por el calor que provoca el corte. En las figuras que aparecen a lo largo de esta sección se exponen los cambios ocurridos a nivel microestructural en cada una de las muestras. Para entender cada uno de estos cambios lo primero que se debe tener en cuenta es la composición química de cada material las cuales aparecen en la tabla 8 que se muestra a continuación.

**Tabla 8.** Composición química de los materiales ensayados.

Acero	C(%)	Mn(%)	Si(%)	P(%)	S(%)	Ni(%)	Cu(%)
A36	0.26	0.8-0.12	0.4	0.04	0.05		
A36-ST37.2	0.12-0.2	0.3-0.7	0.3	0.045	0.045	0.3	0.25
A108	0.43-0.5	0.6-0.9	-	0.04	0.05		
A131	0.18	0.9-1.6	0.5	0.035	0.035		

Dónde:

C: Carbono

Mn: Manganeso

Si: Silicio

P: Fósforo

S: Azufre

Ni: Níquel

Cu: Cobre

Como se observa en la tabla anterior los aceros A36-ST37.2 y A131 se clasifican como aceros de bajo contenido de carbono mientras que los aceros A36 y A108 pertenecen al grupo de los aceros de medio contenido de carbono. Dado que en los ensayos realizados se observó que los aceros que pertenecían a una misma clasificación en cuanto a su porcentaje de carbono tenían comportamientos similares, para los análisis que se realizan a continuación los aceros fueron agrupando según esta característica. Se este análisis en base a la norma la norma ASTM E3-0: Práctica estándar para la

preparación de muestras metalográficas, que además en cada uno de los casos se siguió el procedimiento que se detalla a continuación:

**1. Extracción de la muestra.** Para la extracción de la muestra se considera el lugar de donde se extraerá la probeta y la forma en que se hará la extracción. Además se debe tener en cuenta que no es indiferente el lugar de donde se extraerá la muestra, dependiendo del objetivo del ensayo. En cuanto a la manera de extraer la probeta, esta debe realizarse en condiciones tales que no afecte la estructura superficial de la misma, por lo que se debe controlar que la temperatura del material no se eleve demasiado durante dicho proceso de extracción. Dicha extracción se realiza con cierras de corte manual, o mediante cortadoras sensitivas muy bien refrigeradas en el caso de piezas muy duras.

**2. Preparación de la muestra:** La preparación de la muestra se divide en tres fases:

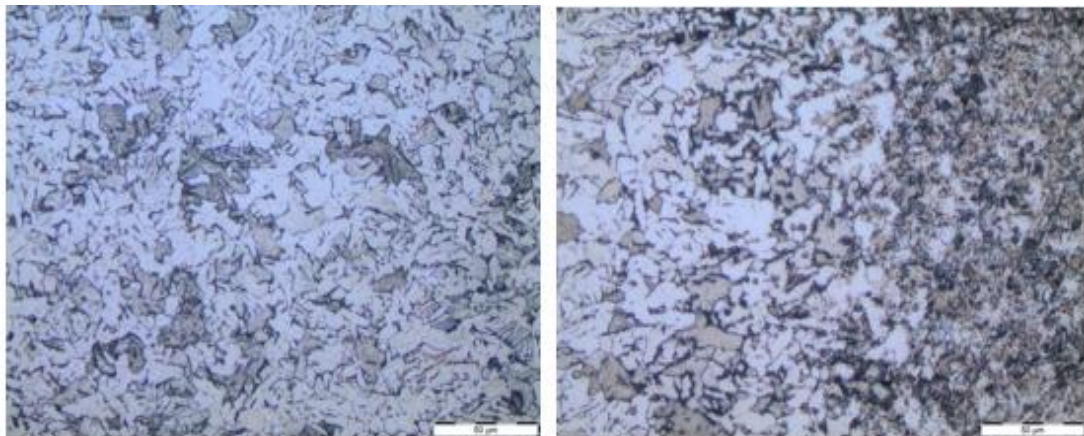
- Desbaste grueso: Este desbaste se practica después de extraída la probeta con la finalidad de reducir irregularidades producidas en la operación de extracción, y tiene por objetivo obtener la cara lo más plana posible, en la figura 31 (a). se observa la máquina que realiza esta operación.
- Desbaste fino: Esta operación comienza con un abrasivo de 150, seguido del 250, luego de 400, hasta terminar con el 600 o 1000.
- Pulido: El pulido se realiza con la finalidad de eliminar las rayas finas producidas en el desbaste final y de obtener una superficie con características especiales. Las máquinas que se utilizó para los dos últimos procesos se observa en la figura 31 (b).



**Figura 31.** (a). Desbaste grueso, (b) Desbaste fino

### 3.6.1 ANÁLISIS METALOGRÁFICO DE LOS ACEROS A36-ST37.2 Y A131 (ACEROS BAJOS EN CONTENIDO DE CARBONO)

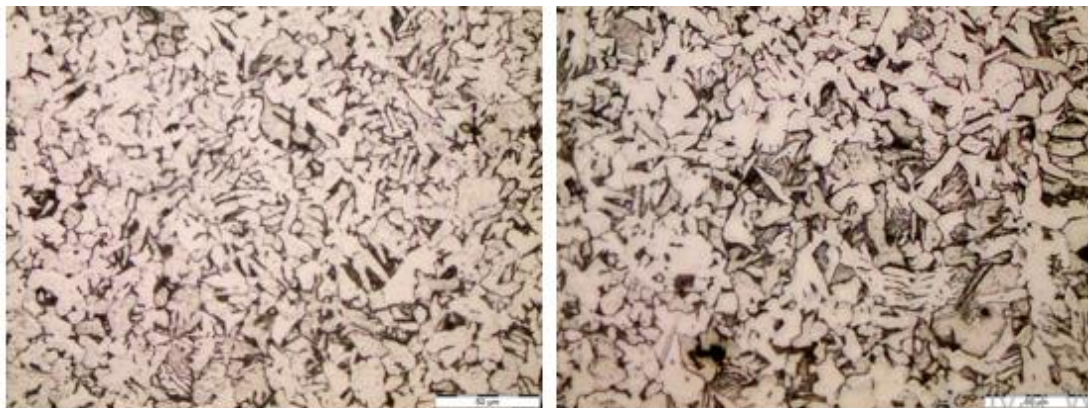
Al observar en las figuras 32 hasta la figuras 35, que aparecen a continuación de las microestructuras en los aceros bajos en contenido de carbono para cada uno de los materiales analizados se aprecia en el metal base una matriz ferrito perlítica, o sea compuesta por perlita laminada que es la que aparece en las zonas oscuras y ferrita proeutectoide que es la que aparece en las zonas claras así como también su respectivo tamaño de grano.



a)-

b)-

**Figura 32.** Acero A36-ST37.2 Atacado con Nital al 2%. (a) Material original (b) Zona afectada térmicamente. Proceso de corte: Plasma. Magnificación en el microscopio: 500X



a)-

b)-

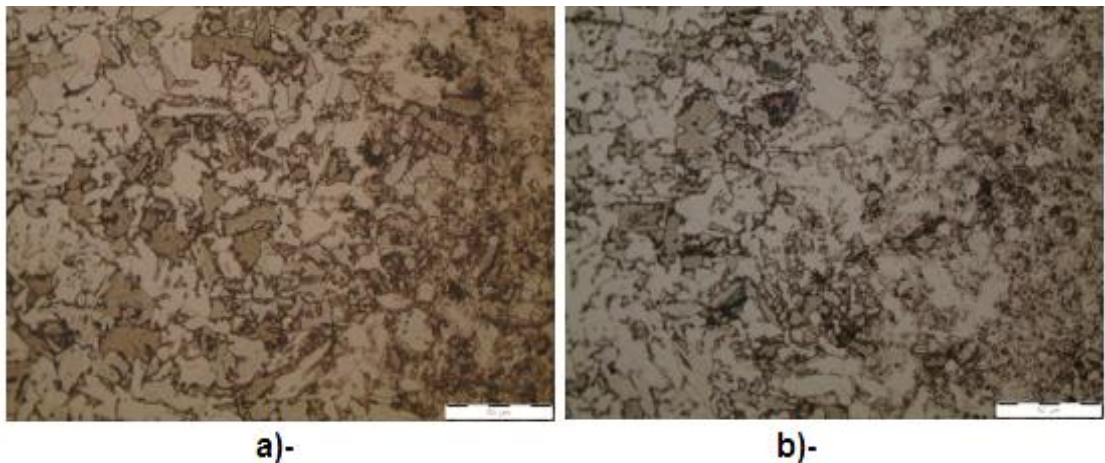
**Figura 33.** Acero A36-ST37.2 Atacado con Nital al 2%. (a) Material original (b) Zona afectada térmicamente. Proceso de Oxicorte. Magnificación en el microscopio: 500X

Como se indica en las figuras, antes expuestas se observa que al elevar la temperatura ya sea esta por efecto del corte por plasma u oxicorte, los cristales ganan o pierden energía, lo que provoca que estos busquen una nueva ordenación con el fin de permanecer estables.

Por esta razón en las imágenes que reflejan la zona afectada por el calor aparece un refinamiento de grano así como una solidificación de tipo celular,

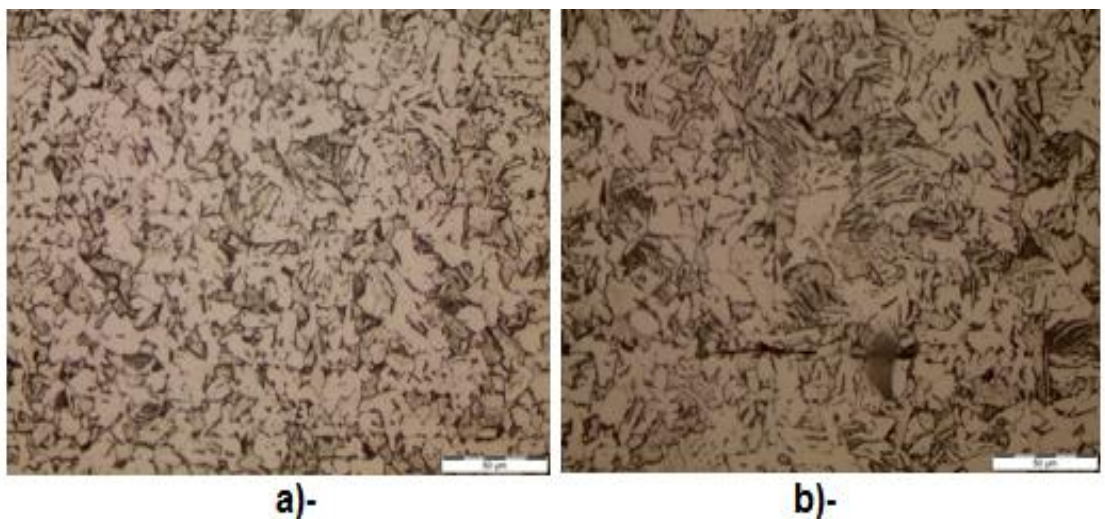
además de una matriz de perlita y ferrita proeutectoide.

El refinamiento en la estructura granular se presenta en materiales de este tipo cortados por el proceso plasma, lo que trae como consecuencia un cambio en las propiedades mecánicas de estos aceros. De esta manera se incrementa la resistencia mecánica y la dureza, por lo tanto existe un menor riesgo de agrietamiento. Este fenómeno se produce porque en una matriz de grano fino se encuentran más juntas de grano, por lo que una rotura es menos probable ya que la rotura encuentra muchos más obstáculos en su propagación que en una matriz de grano grueso la cual tiene menos juntas de grano. Como se observa en las figuras 34.



**Figura 34.** Acero A131, Atacado con Nital al 2%. (a) Material original (b) Zona afectada térmicamente. Proceso de corte por Plasma. Magnificación en el microscopio: 500X

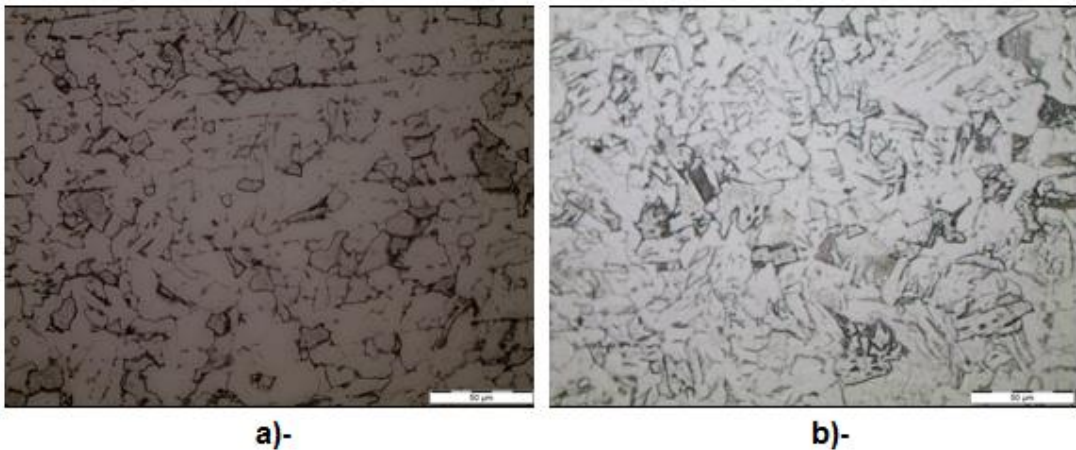
Por otra parte si observa la figura 35, del corte realizado con oxígeno y acetileno, ocurre un crecimiento de grano, demostrando la variación en las propiedades ya mencionadas en relación al corte térmico por plasma.



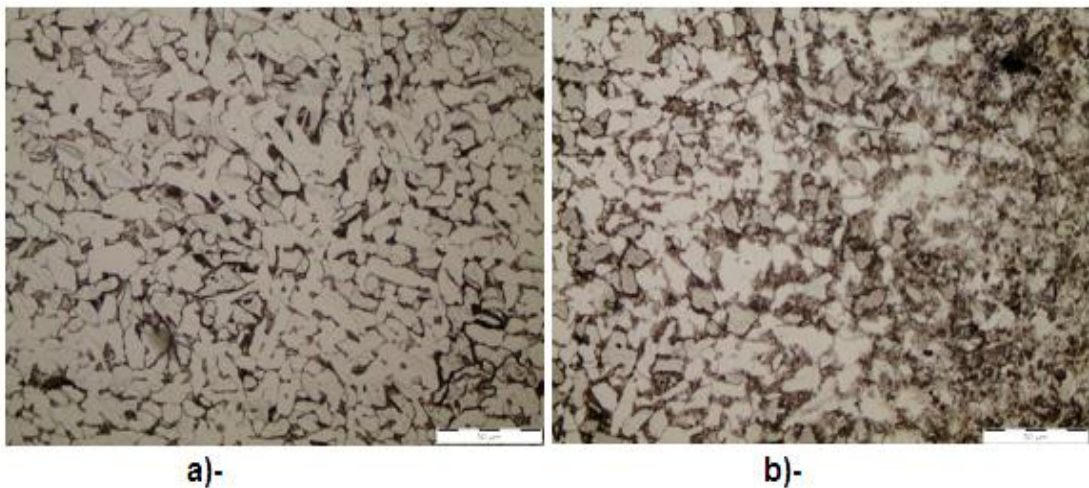
**Figura 35.** Acero A131. Atacado con Nital al 2%. (a) Material original (b) Zona afectada térmicamente. Proceso de Oxicorte. Magnificación en el microscopio: 500X

### 3.6.2 ANÁLISIS METALOGRÁFICO DE LOS ACEROS A36 Y A108 (ACEROS MEDIOS EN CONTENIDO DE CARBONO)

Según las figuras de la 36 y 37, se observa que los aceros de medio contenido de carbono sometidos a procesos de corte térmico, es evidente el incremento en el porcentaje de carbono, esto se refleja en la matriz del metal base en la cual se localiza perlita en la zona oscura en mayor cantidad y ferrita en la zona clara de menor tamaño de grano que en los aceros de bajo contenido de carbono.



**Figura 36.** Acero A36. Atacado con Nital al 2%. (a) Material original (b) Zona afectada térmicamente. Proceso de corte: Oxicrote. Magnificación en el microscopio: 500X

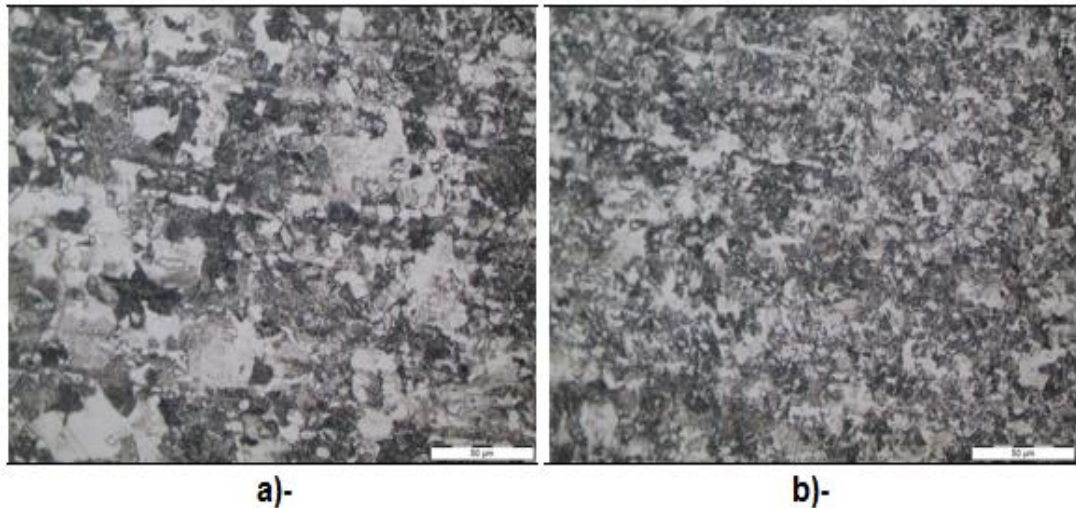


**Figura 37.** Acero A36. Atacado con Nital al 2%. (a) Material original (b) Zona afectada térmicamente. Proceso de corte por Plasma. Magnificación en el microscopio: 500X

En la zona afectada por el calor se aprecia una matriz ferrito perlítica en la cual aparece un reordenamiento estructural acompañado de un refinamiento del grano consecuencia del enfriamiento de la zona austenítica desde donde comienzan a nuclear nuevos granos, estos granos se presentan libres de deformación hasta llegar a la temperatura ambiente en la que se obtiene una nueva estructura recristalizada y bien definida al igual que en los aceros de

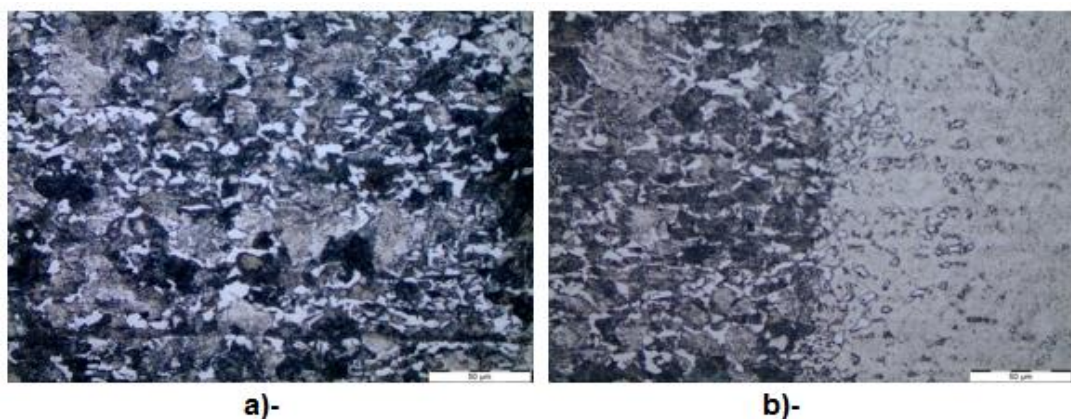
bajo carbono.

Dicha refinación trae consigo mejoras en las propiedades mecánicas ya sea en la dureza, resistencia mecánica y tenacidad en comparación al mismo material de grano grueso. De igual manera sucede con el acero A108 como se observa en las figuras 38 y 39.



**Figura 38.** Acero A108. Atacado con Nital al 2%. (a) Material original (b) Zona afectada térmicamente. Proceso de corte: Oxicorte. Magnificación en el microscopio: 500X

Finalmente si se quiere establecer una diferencia entre los dos procesos aplicados a estos aceros, se toma en cuenta la medida de la zona afectada por el calor la cual fue analizada en el la sección del análisis térmico y comprobada en el microscopio durante el análisis metalográfico dando como resultado que la zona afectada térmicamente (ZAT) por el proceso de oxicorte en todos los casos y para todos los aceros es mayor que la zona afectada térmicamente por el proceso de corte por plasma.



**Figura 39.** Acero A108. Atacado con Nital al 2%. (a) Material original (b) Zona afectada térmicamente. Proceso de corte por Plasma. Magnificación en el microscopio: 500X

Como se observa en las figuras, existe un reordenamiento a nivel estructural con una reducción de grano en las zonas afectadas térmicamente, esto es producto por el efecto de calor que produce los sistemas de corte, generando granos libres de deformación hasta llegar a la temperatura de ambiente, en donde se obtiene una reducción en su nueva estructura recristalizada y bien definida. Esta transformación de la estructura cristalina permite obtener mejores propiedades mecánicas como son: dureza, resistencia mecánica, tenacidad con respecto al material base de grano grueso.

### 3.7 ANÁLISIS DE DUREZA

El parámetro dureza es de gran importancia a la hora de realizar el estudio de la zona afectada por el calor, esta medición permite establecer el patrón de afectación de los metales que estuvieron sometidos a procesos de corte. El objetivo fundamental de este ensayo es conocer si el material se ha ablandado o por el contrario se ha endurecido, como se muestra en la figura 40.



**Figura 40.** Ensayo de dureza.

#### 3.7.1. PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR EL ENSAYO DE DUREZA

Una vez identificada el área afectada por el calor, es necesario analizar cuantitativamente los efectos metalúrgicos del corte térmico sobre los metales ensayados, estos cambios en la dureza del material dentro y fuera del corte en la zona afectada por el calor permiten una evaluación sobre la afectación de cada proceso sobre cada tipo de aleación metálica cortada.

A continuación se describe el método para el ensayo de dureza tipo Rockwell tipo B:

1. Alisar, mediante lijado o limado, la cara a considerar la dureza.

2. Mecanizar la cara opuesta a fin de que sea visiblemente paralela.
3. Montar el penetrador específico de característica K para el tipo de ensayo requerido.
4. Fijar la probeta en la bancada para evitar todo desplazamiento.
5. Seleccionar la carga a aplicar P.

Con un durómetro de escala Rockwell tipo B. fueron ensayadas las ocho probetas como se muestra en la tabla 5 realizando tres mediciones por probeta las cuales estuvieron distribuidas tanto en el metal base como en la zona afectada por el calor. Por otra parte para realizar este análisis fue utilizada la norma ASTM E18: Métodos de prueba estándar para la dureza de Rockwell de materiales metálicos, y el procedimiento convencional el cual establece que el ensayo Rockwell no requiere de ninguna fórmula para la determinación del valor de dureza. Ya que el mismo se obtiene directamente del indicador del equipo utilizado para la medición. Esto se debe a que la misma está dada por el incremento de la profundidad de penetración a consecuencia de la acción del penetrador. El penetrador generalmente es una bolilla de acero o un cono de diamante.

Para la operación, la cual se muestra esquemáticamente en la figura 11, se aplica una carga de 10 kg en un primer momento, produciendo una penetración inicial o huella, la cual pone el penetrador sobre el material y lo mantiene en su lugar. La máquina es encerada, tomando una línea de referencia a partir de la cual se medirá la indentación.

Después se aplica la carga adicional, que generalmente es de 50 o 90 kg cuando se utiliza como penetrador una bolilla de acero o de 140 kg cuando se utiliza el cono de diamante. Una vez aplicada la carga adicional el material fluye plásticamente, y el resultado es la penetración total. Posteriormente, se retira la carga adicional, permitiendo que el material se recupere obteniendo un resultado final en el indicador del equipo. Luego de realizar este procedimiento se registra los datos, como se observa en la tabla 9.

**Tabla 9.** Resultados del ensayo de dureza rockwell B.

Probetas	Medición 1 (HRB)	Medición 2 (HRB)	Medición 3 (HRB)	Dureza del material (HRB)
O A36	72	71	71	72
O A36-ST37.2	64	62	61	66
O A131	65	63	63	66
O A108	200	150	130	88
P A36	74	72	73	72
P A36-ST37.2	72	71	72	66
P A131	77	73	72	66
P A108	180	110	100	88



La dureza de un acero con bajo contenido carbono se encuentra entre 65-67H<sub>RB</sub>, mientras en la zona afectada térmicamente los ensayos reflejan que se producen algunas variaciones, ya que en el caso del acero A36-ST37.2 y el acero A131 luego del proceso de oxicorte el material tiende a ablandarse dentro del rango de 61-65 H<sub>RB</sub>. Sin embargo en el proceso de corte por plasma estos materiales tienden a endurecerse en el rango de los 71-77H<sub>RB</sub>.

Por otro lado la dureza de los aceros que presentan medio contenido de carbono se encuentra alrededor de 88H<sub>RB</sub>, como se muestra en la tabla anterior la zona afectada térmicamente presenta pequeñas variaciones en la dureza, esta refleja un leve endurecimiento del material en el caso del acero A36 a consecuencia del proceso de oxicorte el cual se encuentra en el rango 89-90 H<sub>RB</sub>, en el proceso plasma 89 H<sub>RB</sub>, Mientras que en el caso del acero A108 el endurecimiento es mucho mayor y se encuentra en el rango de los 130-200 H<sub>RB</sub>. En el caso del corte por plasma para los aceros anteriormente mencionados también ocurre un endurecimiento entre los 92-94 H<sub>RB</sub>. para el A36 y de 100-180 H<sub>RB</sub> en el A108.

### 3.8 ANÁLISIS DE COSTOS

Como se observa en la tabla 10, el equipo de plasma tiene un precio en el mercado nacional es de \$2600 aproximadamente dependiendo de la marca y el modelo y el costo de operación es de \$15 la hora. Por otro lado el equipo de oxicorte tiene un valor aproximado de \$500 mientras que su costo de operación es de \$10. Sin embargo si se quiere establecer una comparación entre ambos se tendrían que tomar en cuenta otros factores como el tiempo de trabajo así como los costos por concepto de acabados para realizar un cálculo preciso para cada caso.

**Tabla 10.** Análisis de costos.

<b>Equipos</b>	<b>Costo (\$)</b>
Plasma	2600
Antorcha	230
<b>Total</b>	<b>2830</b>
Oxicorte	500
Cilindro de oxígeno	170
Cilindro de acetileno	170
<b>Total</b>	<b>840</b>
<b>Operación</b>	<b>Costo (\$/h)</b>
Plasma	15
Oxicorte	10

### 3.9 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS

Como se observa en la tabla 11, con relación a la zona afectada por el proceso de plasma supera al corte con llama oxiacetilénica al producir una zona afectada por el calor mucho más pequeña. Por otra parte tanto el redondeo del borde superior, el ángulo de corte así como la formación de escoria son algunos de los principales factores que contribuyen a la calidad del corte y en este aspecto nuevamente el plasma supera ampliamente al oxicorte, al producir un borde virtualmente libre de escoria.

En cuanto a la variación de la dureza y la microestructura del material, en ambos casos ocurre en mayor o menor medida dependiendo no solo del proceso sino de las características propias del material por lo tanto la condición que se encuentra el material depende en que se vaya a emplear. Por otro lado el corte con plasma, tiene un espectro de aplicación sobre materiales más amplio que el oxicorte. Especialmente se destaca la versatilidad para cortar metales de espesores delgados y otro tipo de materiales, que con el oxicorte no sería posible.

Además su costo de operación es sensiblemente inferior al oxicorte y la facilidad de su operación hace posible trabajar en corte manual con plantillas de chapa con un acabado de la pieza prácticamente definitivo, por lo cual es un proceso que brinda mayor productividad siempre que la velocidad de corte sea mayor y dependiendo del espesor del material ya que en la actualidad un plasma manual corta hasta una pulgada mientras que mecanizado se reduce a 3/4" y el oxicorte es capaz de cortar hasta 12" de espesor. Por lo tanto dado que en la industria automotriz normalmente se manejan espesores pequeños es muy recomendable utilizar un equipo de plasma para realizar trabajos de corte.

**Tabla 11.** Comparación de los resultados.

	<b>Plasma</b>	<b>Oxicorte</b>
<b>Zona afectada por el calor</b>	Pequeña Esto se debe a que este equipo concentra el calor de manera puntual debido al diseño de la antorcha	Grande Tanto la temperatura como el área de la zona afectada es mayor dado que el calor que desprende este proceso es mucho menos controlado que en el proceso de corte por
<b>Calidad de corte</b>	Alta (Bordes rectos y muy poca escoria)	Baja (Abundante escoria) Lo cual representa un proceso adicional que es el esmerilado
<b>Cambios en la dureza</b>	Si (Endurecimiento en aceros de bajo y medio carbono)	Si (ablandamiento en aceros de bajo carbono y endurecimiento en aceros de medio carbono)
<b>Cambios en la metalografía</b>	Si (Dependiendo de las características del material)	Si (Dependiendo de las características del material)
<b>Costos</b>	Tanto el precio de los equipos como el costo de operación es más alto que en el caso del oxicorte	A pesar de ser más económico tanto el equipo como el costo de operación a esto hay que sumarle los costos por concepto de maquinado a consecuencia del mal acabado producto a la baja calidad en el corte

## **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 CONCLUSIONES

Finalmente después de haber realizado los cortes y las mediciones de temperaturas en cada una de las muestras y finalizado los ensayos de dureza y metalografía para cada una de las probetas se llega a las siguientes conclusiones:

- Se ha cumplido con el objetivo general planteado en el mismo, el cual fue analizar y comparar los procesos de corte térmico en los metales más utilizados en la industria automotriz, a partir de del análisis térmico, de dureza y metalografía.
- En todos los casos se evidenció que el proceso de corte por plasma produce una franja de zona afectada térmicamente de menor tamaño debido a que maneja un arco concentrado a altas velocidades de corte, mientras que la zona afectada por el proceso de oxicorte es mayor debido a que la llama no se encuentra concentrada en un punto y además maneja bajas velocidades de corte.
- En cuanto a la dureza se comprobó que varía dependiendo del contenido de carbono independientemente del proceso de corte que se utilice, ya que para los aceros de bajo carbono luego del proceso de oxicorte el material tiende a ablandarse, mientras que con el proceso de corte por plasma se endurecen. Por otro lado en los aceros de medio carbono ocurre un endurecimiento independientemente del proceso.
- A nivel microestructural se observó que en los aceros de bajo contenido de carbono cortados por plasma ocurre una refinación del grano y como consecuencia una nueva disposición en la microestructura de la zona afectada por el calor. Sin embargo, ocurre lo contrario para los procesos de oxicorte en los cuales se distingue un crecimiento de grano.

## 4.2 RECOMENDACIONES

Con el fin de profundizar en el estudio de este tema para futuras aplicaciones se proponen las siguientes recomendaciones:

- Ejecutar un análisis de costos para cada uno de los procesos con el fin de conocer otras ventajas y desventajas de estos procedimientos.
- Profundizar en la disminución del impacto ambiental que tiene como consecuencia la práctica de cada procedimiento por la emisión de gases durante el corte.
- Efectuar varios ensayos tomando en cuenta otros parámetros como el espesor y fijando la velocidad de corte con el fin de conocer la influencia de los mismos en el proceso de corte.
- Desarrollar el ataque químico correcto para cada material a ensayar prestando especial atención al tiempo recomendado de exposición al reactivo, evitando sobre atacar la probeta.

## **5. BIBLIOGRAFÍA**

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- Technical Service Hypertherm Inc. (2015). Manual de instrucciones Hypertherm. Hanover, NH USA.
- Hypertherm. (2017). Obtenido de <https://www.hypertherm.com/es/learn/industries/automotive-restoration/?region=SART>
- Alcaldía de Quito. (24 de Diciembre de 2016). Agencia Metropolitana de Tránsito. Obtenido de <http://www.amt.gob.ec/>
- Alonso, J. M. (2001). Mecánica del automóvil. España.
- Alonso, J. M. (2005). Técnica del automóvil. Madrid.
- Alvarenga, B., & Máximo, A. (2005). Física General. México, D.F.: HARLA.
- Arcos, P., & Fiallos, J. (2010). Análisis comparativo de los procesos de corte por plasma, oxicorte y arc air aplicados a metales. Quito.
- BAW. (2015). Buenos Aires Welding. Obtenido de <http://www.baw.com.ar/descargas/nociones-sobre-corte-por-plasma.pdf>
- Beleño, G., & Herrera, L. (2005). Estudio microestructural de laminas de acero ASTM A131 grado A sometidas a cargas explosivas. Cartagena de Indias.
- BOSCH. (2010). Manual de la Técnica del Automovil. Reverté, S.A.
- Calupiña, C., & Oña, D. (2012). Mejoramiento de los parámetros de trabajo para una maquina de corte de plasma y oxiacetilénica tipo CNC - 4000 marca hugong welder. Quito.
- Cascajosa, M. (s.f.). Ingenieria de Vehículos. Sistemas y Cálculos.
- Cortés, D. (2012). Sistema experto de seleccion de procesos no convencionales para corte de chapa metálica. Catalunya.
- DIPAC. (2015). Productos de Aceros DIPAC. Obtenido de [www.dipacmanta.com](http://www.dipacmanta.com)
- Font Mezquita, J. (2001). Tratado sobre automóviles. Mexico: Alfaomega Grupo Editor.
- García, T. (2015). Comportamiento en fatiga de componentes estructurales obtenidos mediante oxicorte, corte por plasma y corte por láser: Corporativa y definición de curvas S-N de diseño. Santander.
- Godoy, P., & Mencias, O. (2015). Diseño y construcción de un sistema para extracción de gases residuales de una mesa de corte por plasma. Cuenca.
- Gomez, T., Martin, J., Agueda, E., & Garcia, J. (2010). Estructuras del vehiculo. Madrid: Paraninfo.
- GRUPO INFRA. (2015). Equipos para soldadura y oxicorte. Mexico.
- Guanoluisa, H., & Yáñez, F. (2007). Diseño y construcción de un sistema automático de corte por plasma mediante control numérico computarizado CNC. Latacunga.
- Hypertherm Inc. (2015). Manual del operador Powermax 85. Hanover USA.
- INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. (2003). NORMA TÉCNICA ECUATORIANA - NTE INEN 2 349. Quito- Ecuador.
- ISF Aachen. (2005). The technologies of thermal cutting. Obtenido de [http://www.wm.pollub.pl/files/24/attachment/4187\\_WT-work.ang.pdf](http://www.wm.pollub.pl/files/24/attachment/4187_WT-work.ang.pdf)

- Izurieta, A. (2015). Estudio de las juntas soldadas a tope posterior a los procesos de corte térmico en el acero estructural ASTM A588 y su incidencia en las propiedades mecánicas. Ambato.
- Jeffus, L. (2009). Soldadura: Principios y aplicaciones. Buenos Aires: Paraninfo, S.A.
- Marrero, J. (12 de mayo de 2015). Suspensiones. Todo Mecánica. Obtenido de <http://www.todomecanica.com/blog/51-verificacion-control-sistema-frenos.html>
- Marti Perera, A. (2010). Sistemas de seguridad y confort en vehículos automóviles. Bogotá.
- Maschinenbau Haldenwang. (2014). Banco de suspensiones. Haldenwang . Germany.
- Millan Gomez. (2006). Procedimientos de Mecanizado. Madrid: Paraninfo.
- Millan Gomez. (2012). Metrología y ensayos. Madrid: Paraninfo.
- Ocaña, E. (2010). Diseño y cálculo de sistema de frenado para un prototipo formula student.
- ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE METROLOGÍA LEGAL. (2008). OIML D 31.
- Ospina, N. U. (2010). Soldadura y corte oxiacetilénico.
- Pintado, A. (2010). Propuesta para la optimización del proceso productivo en la fábrica de resortes Vanderbilt. Cuenca.
- Promax. (Octubre de 2017). Obtenido de <http://www.promax.es/esp/noticias/400/camara-termografica-como-funcionan-y-por-que-pueden-ser-necesarias>
- Pruebas en banco de Suspension. (s.f.). Obtenido de <http://www.renault19club.com.ar/forum/index.php?topic=11488.0>
- Remling, J. (2011). Sistema de frenos.
- Reyclo. (2016).
- Salazar, J. L. (2010). Fuerzas desarrolladas en el frenado de vehículos.
- Tusek, J., & Sraj, M. (2006). Oxy- Hydrogen flame for cutting of steels. Ljubljana.
- Universidad Miguel Hernández. (2007). Análisis de datos de frenada de un vehículo sobre banco de rodillos de ITV y suelo plano variando el peso en el eje delantero y la presión de los neumáticos". Elche, España.
- Universidad Politecnica de Valencia-UPV. (24 de 10 de 2011). Ensayos de Dureza - Curso Ciencia de los Materiales (17-22) | UPV [archivo de vídeo]. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=66pznO3EjRU>
- Vallejo, E. R. (2013). Determinación de costos de producción de la planta de facilidades de producción SERTECPET para la elaboración de recipientes a presión bajo Norma ASME y tanques de almacenamiento .
- Van Leeuwen Test Systems B.V. (s.f.). BANCO DE PRUEBAS DE SUSPENSIÓN VLT 3673/M - VLT 3673/MK2.
- Velasco, R. (2012). El proceso de corte térmico en la construcción naval. Lima.
- Volkenstein. (2008). Ecuaciones y Gráficas del Movimiento Armónico Simple. En Física 1.



## **6. ANEXO**

## 6. ANEXOS

### Anexo 1.

#### Clasificación de los procesos de corte térmico según la ANSI/AWS

##### Corte con Oxígeno (OC)

Corte con fundente químico..... FOC

Corte con polvo de metal.....POC

Corte con gas Oxicombustible..... OFC

- corte con oxiacetileno
- corte con Metilacetileno-Propadieno-Estabilizado
- corte con gas oxinatural
- corte con oxihidrógeno
- corte con oxipropano
- corte con oxipropileno

Corte con arco de oxígeno.....AOC

Corte con lanza de oxígeno.....LOC

##### Corte con Arco (AC)

Corte con arco de carbón aire.....CAC-A

Corte con arco de carbón.....CAC

Corte con arco de metal con gas.....GMAC

Corte con arco de tungsteno con gas.....GTAC

Corte con arco de metal recubierto.....SMAC

Corte con arco de plasma.....PAC

##### Otros Cortes

Corte con haz de electrones.....EBC

Corte con rayo de láser.....LBC

- aire
- evaporación
- gas inerte
- oxígeno

Corte por chorro de agua

Corte con chorro de agua abrasiva

(Arcos & Fiallos, 2010)

## Anexo 2. Equipo para corte por plasma



### Especificaciones

Voltajes de entrada ( $\pm 10\%$ )	200-240 V, 1-F, 50-60 Hz 480 V, 3-F, 50-60 Hz
Corriente de entrada a 6,5 kW	200-240 V, 1-F, 39/32 A 480 V, 3-F, 9,4 A
Corriente de salida	10-45 A
Voltaje de salida nominal	145 VCD
Ciclo de trabajo a 40 °C	50% a 45 A, 200-240 V, 1-F 60% a 41 A, 200-240 V, 1-F 100% a 32 A, 200-240 V, 1-F 50% a 45 A, 480 V, 3-F 60% a 41 A, 480 V, 3-F 100% a 32 A, 480 V, 3-F
Voltaje en circuito abierto	275 VCD
Dimensiones con manijas	442 mm P; 173 mm A; 357 mm L
Peso con antorcha de 6,1 m	14 kg
Alimentación de gas	Corte: aire (limpio, seco y libre de aceite), nitrógeno, F5 Ranurado: aire (limpio, seco y libre de aceite), nitrógeno, F5 Marcado: aire (limpio, seco y libre de aceite), argón
Presión/rango de flujo de entrada de gas recomendados	188 l/min a 5,9 bar
Longitud cable potencia de alimentación	3 m
Tipo fuente de energía	Inversor - IGBT
Requisito al motor	12,5 kVA (10 kW) plena capacidad, salida 45 A
Eficacia eléctrica	88%
Capacidad de reciclado	100%

### Anexo 3. Equipo de oxicorte



Equipo oxicorte industrial modelo JOURNEYMAN DLX marca VICTOR USA.

Componentes:

- Regulador de oxígeno modelo SR450D
- Regulador de acetileno modelo SR460A
- Aditamento de corte modelo CA-2460
- Antorcha de suelda modelo 315 FC
- Boquillas de suelda modelos 1W, 3W, 5W
- Boquillas de calentamiento # 8 MFA
- Boquilla de corte acetileno # 1-1-101
- 25 pies de manguera gemela con accesorios
- Chispero y gafas

## Anexo 4. Durómetro pantec 2211P



### CARACTERÍSTICAS:

- Sistema tradicional de peso muerto
- Selección de carga manual
- Escalas de Rockwell: C, B, A y F
- Operada manualmente
- Analógico
- Cumple con los estándares ISO, ASTM y JIS
- Amortiguador de carga hidráulico
- Construcción robusta, resistirá los entornos más duros
- La precisión cumple con EN-ISO 6508 y ASTM E-18
- Freno de aceite con amortiguación variable por perilla ajustable
- Gran capacidad para acomodar grandes muestras de prueba
- Entrega estándar, incluidos los accesorios listos para probar todas las básculas

## **Anexo 5.**

### Microscopio electrónico Olympus SC30



La cámara digital SC30 es ideal para la documentación de imágenes industriales de nivel básico e incorpora un sensor CMOS de 3,3 megapíxeles que reduce el consumo de energía y el ruido electrónico.

El sensible sensor CMOS es ideal para imágenes, mediciones y documentación industrial de nivel de entrada.

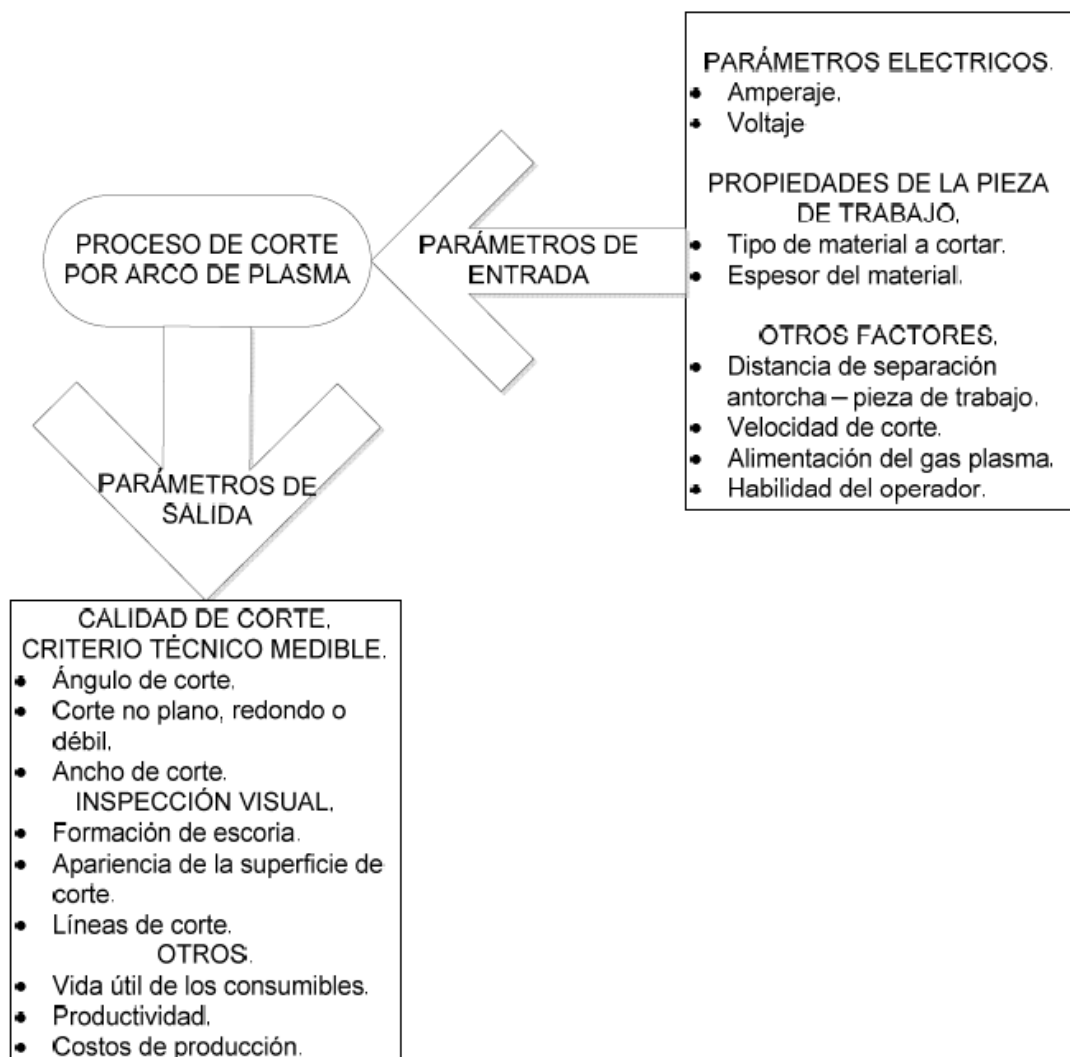
La cámara también ofrece tres velocidades de cuadro:

- El modo de búsqueda utiliza un binning de 3x píxeles para ofrecer 37 imágenes por segundo a 640 x 512 píxeles. Esto hace que encontrar áreas adecuadas de una muestra sea muy fácil.
- El modo de enfoque utiliza el binning de 2x píxeles para ofrecer 28 imágenes por segundo a 1.024 x 768 píxeles. Esto asegura que el enfoque se puede llevar a cabo de forma rápida y precisa.
- El modo de resolución completa ofrece 10 imágenes por segundo con una resolución de 3.2 megapíxeles.

El SC30 permite a los usuarios encontrar, enfocar e imagen rápidamente lo que buscan con una fidelidad de color excelente. Además, el SC30 ofrece un amplio rango de exposición (57  $\mu$ s - 75 s)

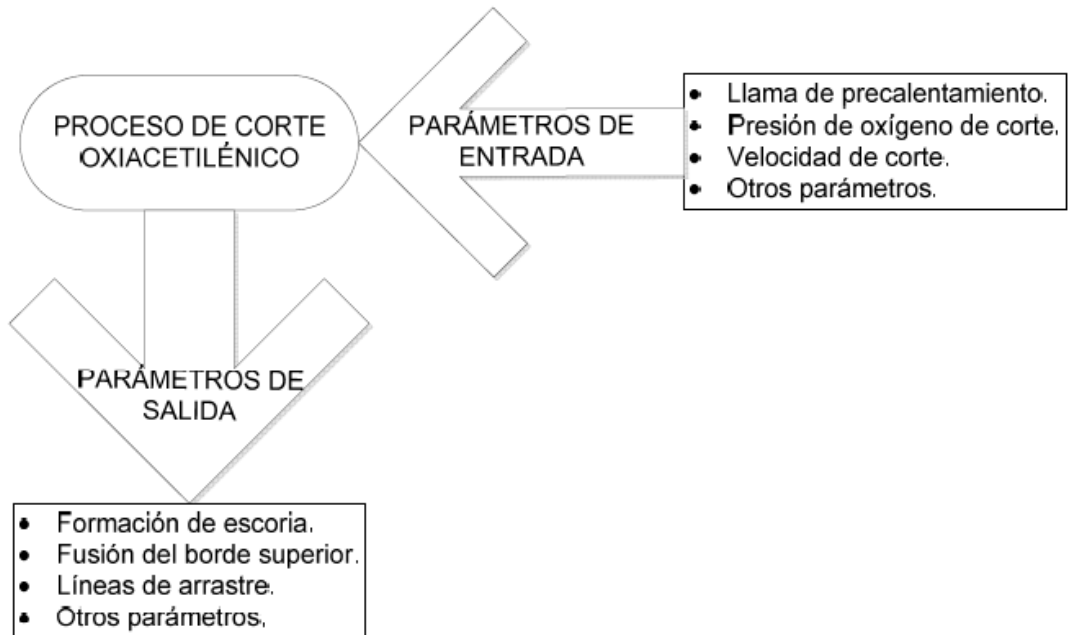
## Anexo 6.

### Parámetros de entrada y salida del proceso de corte por plasma



## Anexo 7.




### Parámetros de entrada y salida del proceso de corte por oxiacetilénico

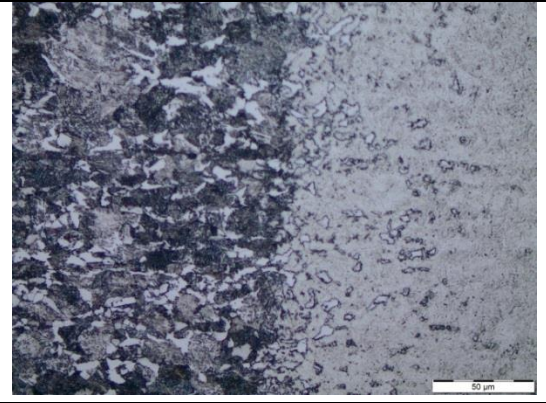
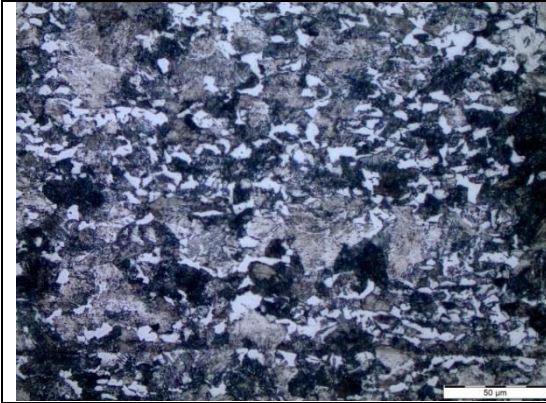




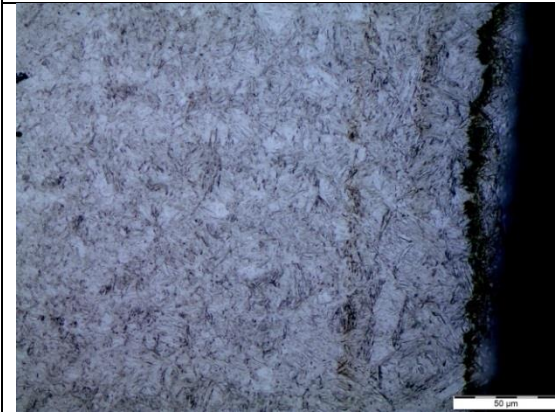
## Anexo 8.

### Registro de pruebas de corte por plasma (PAC)

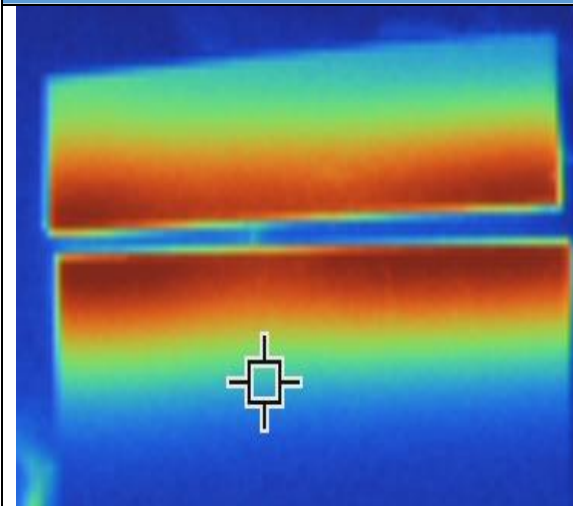
IDENTIFICACIÓN	
<b>No. Probeta:</b> 1	<b>Fecha:</b> 19 de Diciembre del 2017
MATERIALES	EQUIPO
<b>Material:</b> Acero SAE 1045 <b>Espesor (mm):</b> 5 <b>Dimensiones (mm):</b> 200x300	<b>Marca:</b> Hypertherm Powermax 45 <b>Amperaje (A):</b> 45 A <b>Voltaje (v):</b> 130 <b>Gas Utilizado:</b> Aire <b>Presión (PSI):</b> 120 <b>Distancia antorcha-pieza(mm):</b> 1.5 <b>Altura de perforación(mm):</b> 3.8
PROCESO DE CORTE	PERFIL DE CORTE
<b>Tiempo de corte (s):</b> 20 <b>Velocidad de corte (mm/s):</b> 10 <b>Ancho de corte (mm):</b> 1.6 <b>Longitud de corte (mm):</b> 200	
EVALUACIÓN CALIDAD DE CORTE	
APARIENCIA SUPERFICIE	BORDE
<b>Plano</b> X <b>Irregular</b>	<b>Cuadrado</b> X <b>Socavamiento borde inferior</b> <b>Socavamiento borde superior</b>
ESCORIA	DEFECTOS SUPERFICIALES
<b>Si</b> X <b>No</b>	<b>Grietas</b> <b>Bolsas</b> <b>Otros</b> _____ <b>Poros</b> _____
PARÁMETROS DE ENSAYOS METALOGRAFICO	
<b>Temperatura durante el pulido:</b> 21°C	<b>Pulido:</b> Pulido Mecánico
<b>Ataque Químico de la superficie:</b> Nital 2% Villela	<b>Tiempo (s):</b> 10 20
RESULTADO	
Microestructura Sin Ataque 100x	Microestructura Con Ataque 100X
	
Microestructura del Material Base a 500X	Microestructura de la Interface a 500X



Microestructura del Borde a 500X




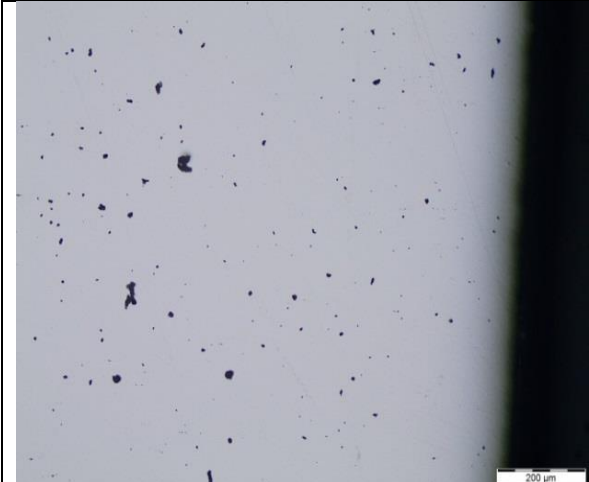
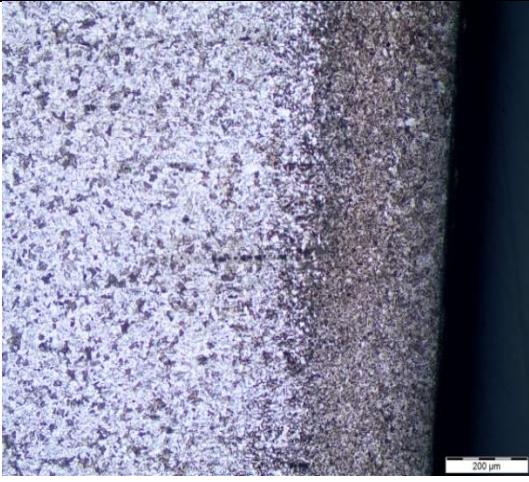
**TERMOGRAFÍA**

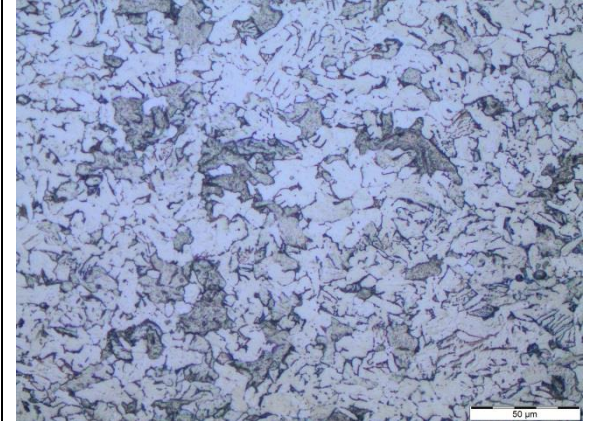
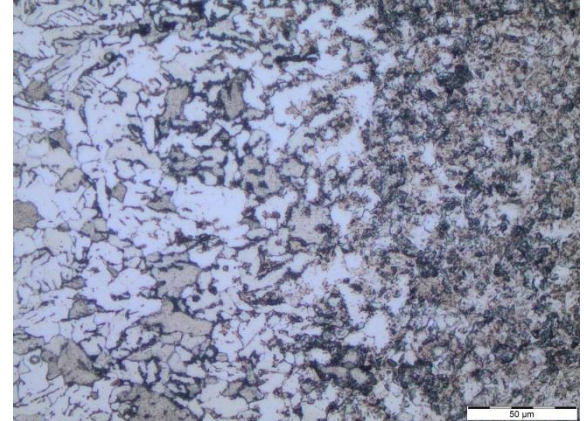
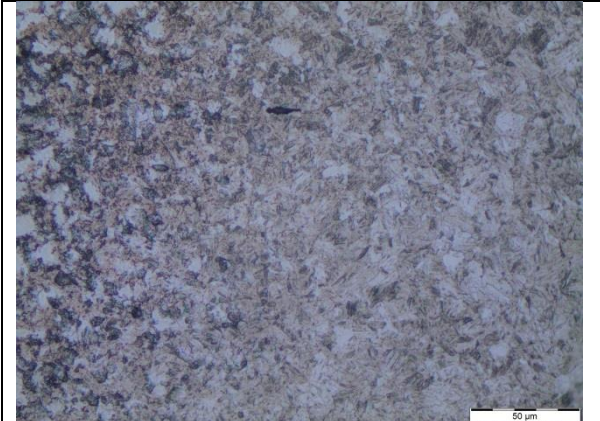
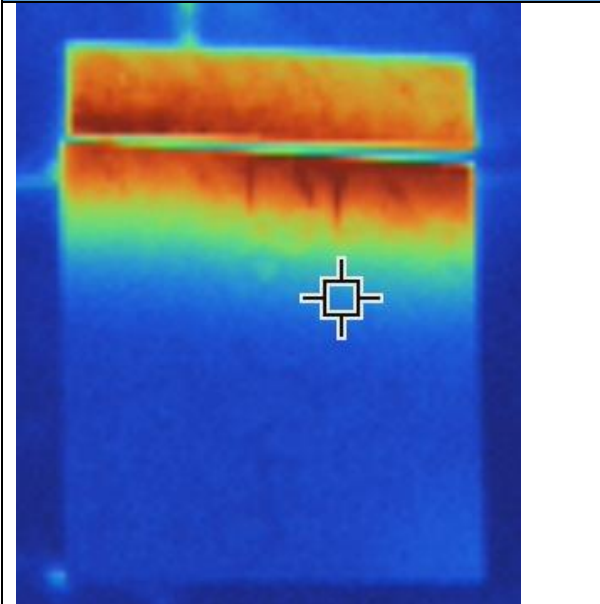




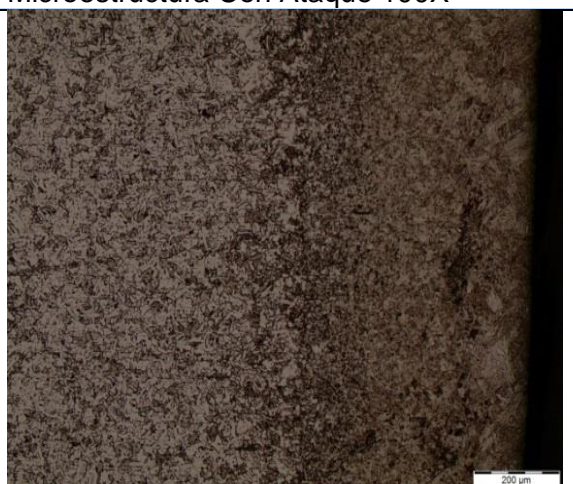
**PRIMERA MEDIDA: 67.7 °C**

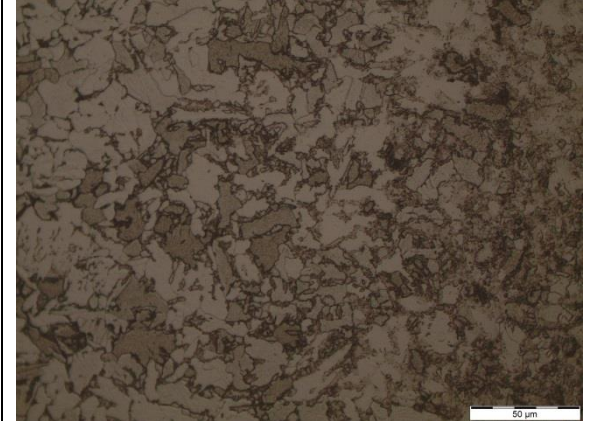
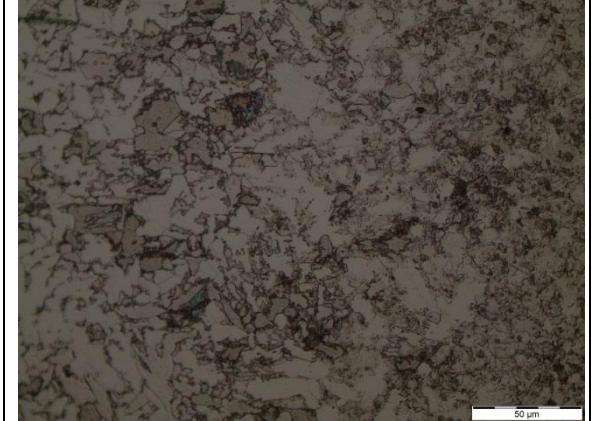
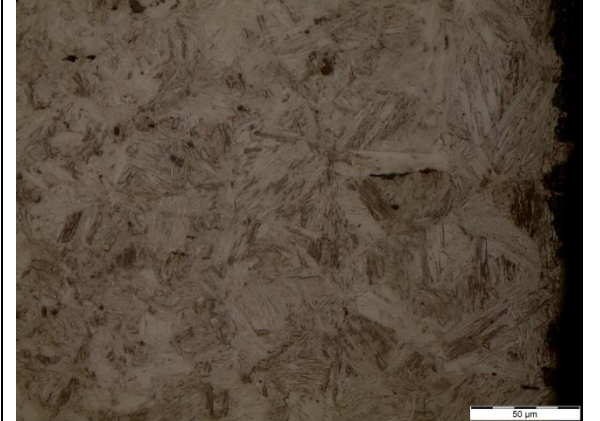
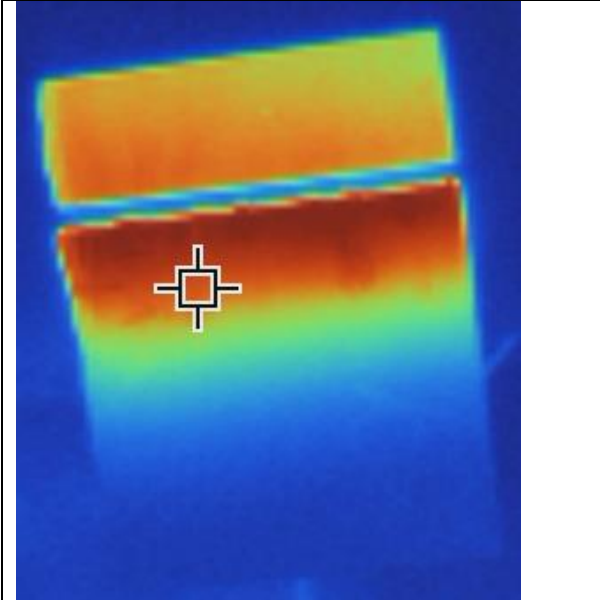
**SEGUNDA MEDIDA: 54.4 °C**

**TERCERA MEDIDA: 32.1 °C**

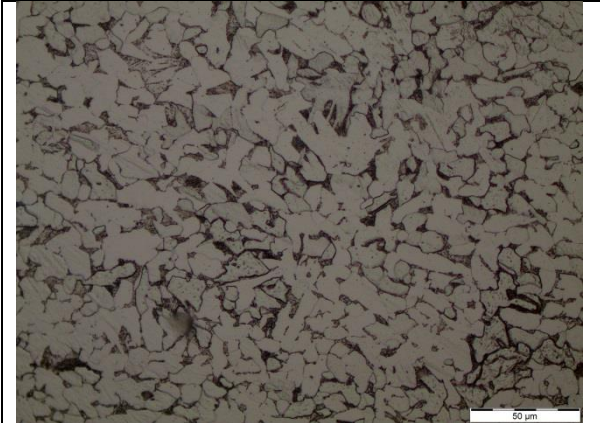
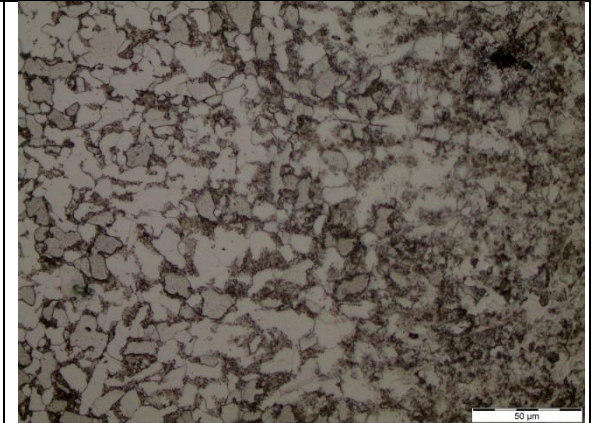
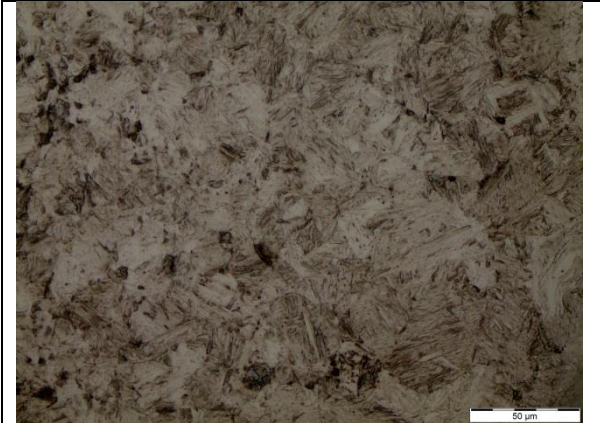
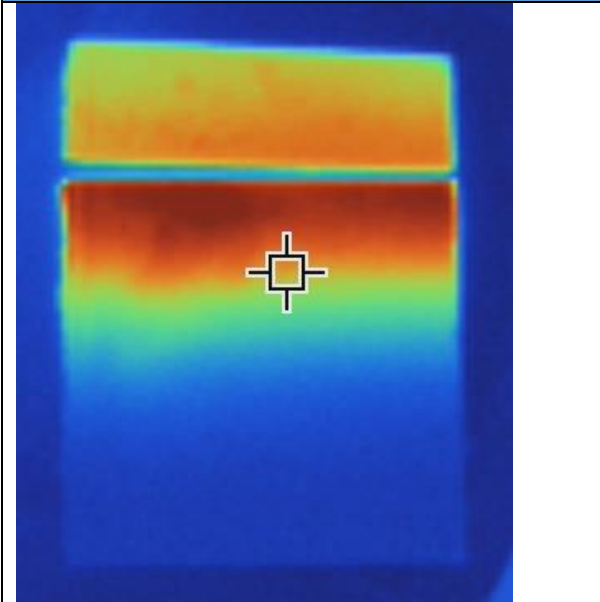
IDENTIFICACIÓN	
<b>No. Probeta:</b> 2	<b>Fecha:</b> 19 de Diciembre del 2017
MATERIALES	EQUIPO
<b>Material:</b> Acero ASTM A36-ST37.2 <b>Espesor (mm):</b> 5 <b>Dimensiones (mm):</b> 200x200	<b>Marca:</b> Hypertherm Powermax 45 <b>Amperaje (A):</b> 45 A <b>Voltaje (v):</b> 130 <b>Gas Utilizado:</b> Aire <b>Presión (PSI):</b> 120 <b>Distancia antorcha-pieza(mm):</b> 1.5 <b>Altura de perforación(mm):</b> 3.8
PROCESO DE CORTE	PERFIL DE CORTE
<b>Tiempo de corte (s):</b> 18 <b>Velocidad de corte (mm/s):</b> 11.1 <b>Ancho de corte (mm):</b> 1.6 <b>Longitud de corte (mm):</b> 200	
EVALUACIÓN CALIDAD DE CORTE	
APARIENCIA SUPERFICIE	BORDE
<b>Plano</b> X <b>Irregular</b>	<b>Cuadrado</b> X <b>Socavamiento borde inferior</b> <b>Socavamiento borde superior</b>
ESCORIA	DEFECTOS SUPERFICIALES
<b>Si</b> X <b>No</b>	<b>Grietas</b> <b>Bolsas</b> <b>Otros</b> _____ <b>Poros</b> _____
PARÁMETROS DE ENSAYOS METALOGRAFICO	
<b>Temperatura durante el pulido:</b> 21 <sup>a</sup> C	<b>Pulido:</b> Pulido Mecánico
<b>Ataque Químico de la superficie:</b> Nital 2% Villela	<b>Tiempo (s):</b> 10 20
RESULTADO	
Microestructura Sin Ataque 100x	Microestructura Con Ataque 100X
	

Microestructura del Material Base a 500X	Microestructura de la Interface a 500X
	
Microestructura del Borde a 500X	
	
<b>TERMOGRAFÍA</b>	
	<b>PRIMERA MEDIDA:</b> 68.4 °C
	<b>SEGUNDA MEDIDA:</b> 51.4 °C
	<b>TERCERA MEDIDA:</b> 34.5 °C

IDENTIFICACIÓN	
<b>No. Probeta:</b> 3	<b>Fecha:</b> 19 de Diciembre del 2017
MATERIALES	EQUIPO
<b>Material:</b> Acero ASTM A131 <b>Espesor (mm):</b> 5 <b>Dimensiones (mm):</b> 200x200	<b>Marca:</b> Hypertherm Powermax 45 <b>Amperaje (A):</b> 45 A <b>Voltaje (v):</b> 130 <b>Gas Utilizado:</b> Aire <b>Presión (PSI):</b> 120 <b>Distancia antorcha-pieza(mm):</b> 1.5 <b>Altura de perforación(mm):</b> 3.8
PROCESO DE CORTE	PERFIL DE CORTE
<b>Tiempo de corte (s):</b> 20 <b>Velocidad de corte (mm/s):</b> 10 <b>Ancho de corte (mm):</b> 1.5 <b>Longitud de corte (mm):</b> 200	
EVALUACIÓN CALIDAD DE CORTE	
APARIENCIA SUPERFICIE	BORDE
<b>Plano</b> X <b>Irregular</b>	<b>Cuadrado</b> X <b>Socavamiento borde inferior</b> <b>Socavamiento borde superior</b>
ESCORIA	DEFECTOS SUPERFICIALES
<b>Si</b> X <b>No</b>	<b>Grietas</b> <b>Bolsas</b> <b>Otros</b> _____ <b>Poros</b> _____
PARÁMETROS DE ENSAYOS METALOGRAFICO	
<b>Temperatura durante el pulido:</b> 21°C	<b>Pulido:</b> Pulido Mecánico
<b>Ataque Químico de la superficie:</b> Nltal 2% Villela	<b>Tiempo (s):</b> 10 20
RESULTADO	
Microestructura Sin Ataque 100x	Microestructura Con Ataque 100X
	



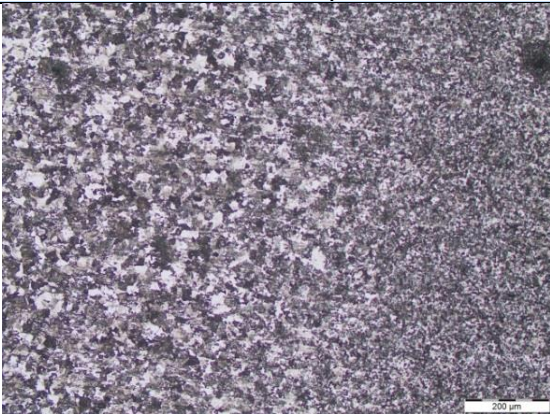
Microestructura del Material Base a 500X	Microestructura de la Interface a 500X
	
Microestructura del Borde a 500X	
	
<b>TERMOGRAFÍA</b>	
	<b>PRIMERA MEDIDA:</b> 104.2 °C
	<b>SEGUNDA MEDIDA:</b> 79.6 °C
	<b>TERCERA MEDIDA:</b> 40.3 °C

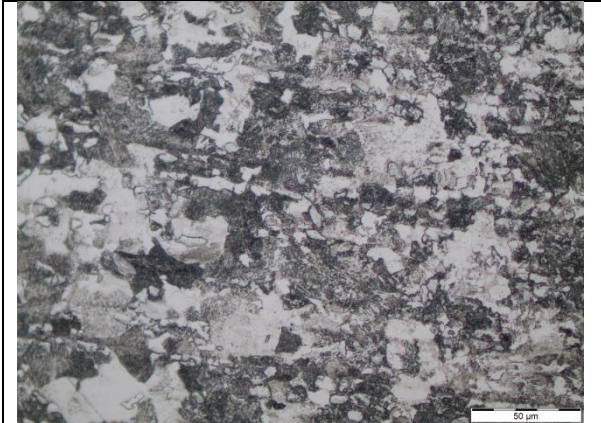
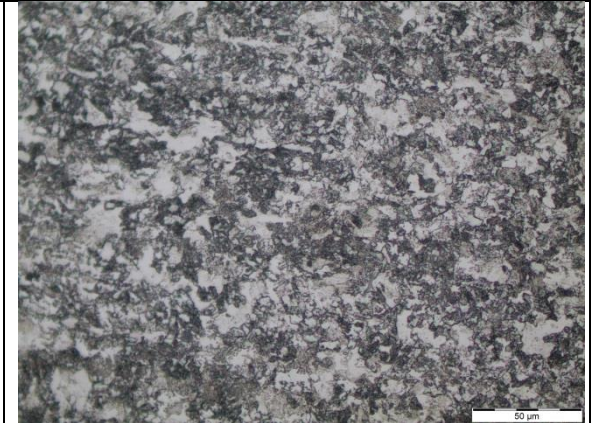
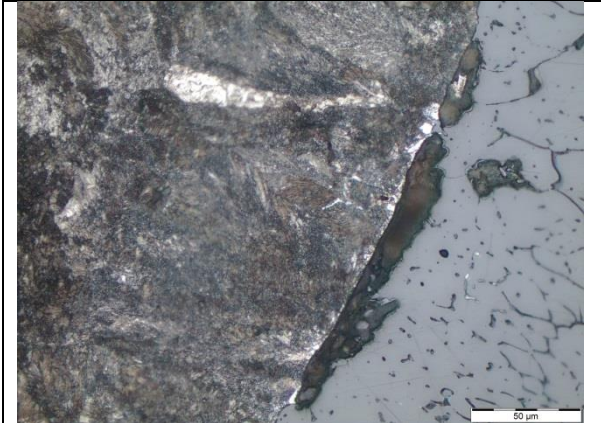
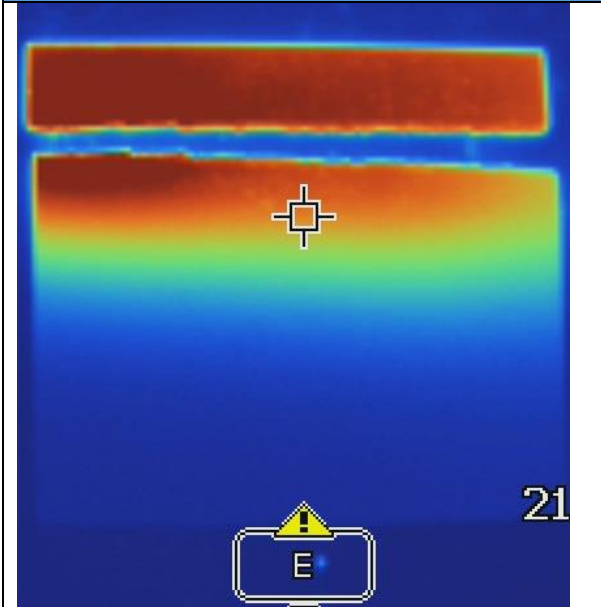
IDENTIFICACIÓN		
<b>No. Probeta:</b> 4	<b>Fecha:</b> 19 de Diciembre del 2017	
MATERIALES	EQUIPO	
<b>Material:</b> Acero ASTM A36 <b>Espesor (mm):</b> 5 <b>Dimensiones (mm):</b> 200x200	<b>Marca:</b> Hypertherm Powermax 45 <b>Amperaje (A):</b> 45 A <b>Voltaje (v):</b> 130	<b>Gas Utilizado:</b> Aire <b>Presión (PSI):</b> 120 <b>Distancia antorcha-pieza(mm):</b> 1.5 <b>Altura de perforación(mm):</b> 3.8
PROCESO DE CORTE	PERFIL DE CORTE	
<b>Tiempo de corte (s):</b> 19 <b>Velocidad de corte (mm/s):</b> 10.5 <b>Ancho de corte (mm):</b> 1.5 <b>Longitud de corte (mm):</b> 200		
EVALUACIÓN CALIDAD DE CORTE		
APARIENCIA SUPERFICIE	BORDE	
<b>Plano</b> X <b>Irregular</b>	<b>Cuadrado</b> X <b>Socavamiento borde inferior</b> <b>Socavamiento borde superior</b>	
ESCORIA	DEFECTOS SUPERFICIALES	
<b>Si</b> X <b>No</b>	<b>Grietas</b> <b>Bolsas</b> <b>Otros</b> ___ <b>Poros</b> ___	
PARÁMETROS DE ENSAYOS METALGRÁFICO		
<b>Temperatura durante el pulido:</b> 21°C	<b>Pulido:</b> Pulido Mecánico	
<b>Ataque Químico de la superficie:</b> Nital 2% Villela	<b>Tiempo (s):</b> 10 20	
RESULTADO		
Microestructura Sin Ataque100x	Microestructura Con Ataque 100X	
		

Microestructura del Material Base a 500X	Microestructura de la Interface a 500X
	
Microestructura del Borde a 500X	
	
<b>TERMOGRAFÍA</b>	
	<b>PRIMERA MEDIDA: 99.5 °C</b>
	<b>SEGUNDA MEDIDA: 72.7 °C</b>
	<b>TERCERA MEDIDA: 34.3 °C</b>

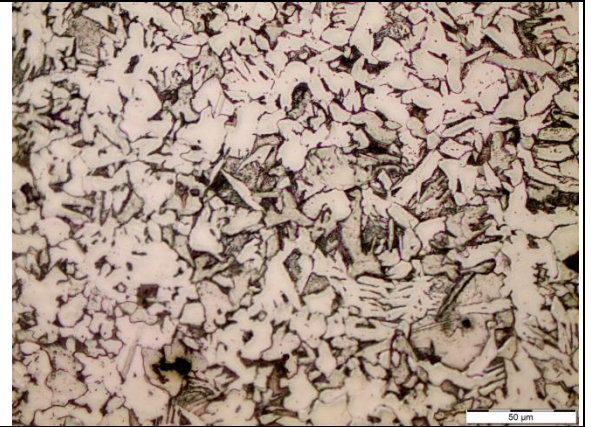
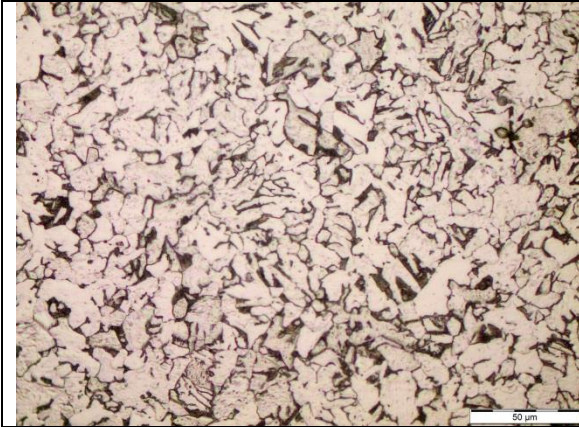


**Anexo 9.**  
**Registró de pruebas de corte por oxiacetilénica (OFC)**

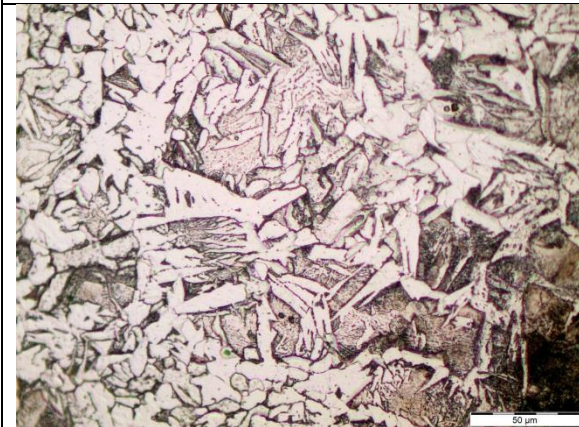
IDENTIFICACIÓN	
<b>No. Probeta:</b> 5	<b>Fecha:</b> 19 de Diciembre del 2017
MATERIALES	EQUIPO
<b>Material:</b> Acero SAE 1045 <b>Espesor (mm):</b> 5 <b>Dimensiones (mm):</b> 200x300	<b>Tamaño de boquilla:</b> 00 <b>Presión de oxígeno(PSI):</b> 30 <b>Presión acetileno (PSI):</b> 10
PROCESO DE CORTE	PERFIL DE CORTE
<b>Tiempo de precalentamiento (s):</b> 10 <b>Tiempo de corte (s):</b> 40 <b>Velocidad de corte (mm/s):</b> 4 <b>Ancho de corte (mm):</b> 3,5 <b>Longitud de corte (mm):</b> 200	
EVALUACIÓN CALIDAD DE CORTE	
APARIENCIA SUPERFICIE	BORDE
<b>Plano</b> X <b>Irregular</b>	<b>Cuadrado</b> <b>Socavamiento borde inferior</b> X <b>Socavamiento borde superior</b>
ESCORIA	DEFECTOS SUPERFICIALES
<b>Si</b> X <b>No</b>	<b>Grietas</b> <b>Bolsas</b> <b>Otros</b> _____ <b>Poros</b> _____
PARÁMETROS DE ENSAYOS METALOGRÁFICO	
<b>Temperatura durante el pulido:</b> 21 <sup>a</sup> C	<b>Pulido:</b> Pulido Mecánico
<b>Ataque Químico de la superficie:</b> Nital 2% Villela	<b>Tiempo (s):</b> 10 20
RESULTADO	
Microestructura Sin Ataque 100x	Microestructura Con Ataque 100X
	

Microestructura del Material Base a 500X	Microestructura de la Interface a 500X
	
Microestructura del Borde a 500X	
	
<b>TERMOGRAFÍA</b>	
	<b>PRIMERA MEDIDA:</b> 304.4 °C
	<b>SEGUNDA MEDIDA:</b> 155.1 °C
	<b>TERCERA MEDIDA:</b> 63.6 °C

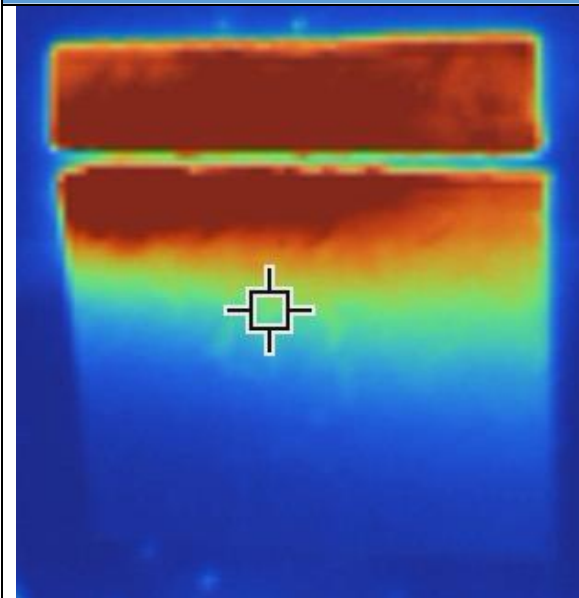
IDENTIFICACIÓN	
<b>No. Probeta:</b> 6	<b>Fecha:</b> 19 de Diciembre del 2017
MATERIALES	EQUIPO
<b>Material:</b> Acero ASTM A36-ST32.2 <b>Espesor (mm):</b> 5 <b>Dimensiones (mm):</b> 200x200	<b>Tamaño de boquilla:</b> 00 <b>Presión de oxígeno(PSI):</b> 30 <b>Presión acetileno (PSI):</b> 10
PROCESO DE CORTE	PERFIL DE CORTE
<b>Tiempo de precalentamiento (s):</b> 10 <b>Tiempo de corte (s):</b> 55 <b>Velocidad de corte (mm/s):</b> 3,07 <b>Ancho de corte (mm):</b> 3,5 <b>Longitud de corte (mm):</b> 200	
EVALUACIÓN CALIDAD DE CORTE	
APARIENCIA SUPERFICIE	BORDE
<b>Plano</b> <b>Irregular</b> X	<b>Cuadrado</b> <b>Socavamiento borde inferior</b> X <b>Socavamiento borde superior</b>
ESCORIA	DEFECTOS SUPERFICIALES
<b>Si</b> X <b>No</b>	<b>Grietas</b> <b>Bolsas</b> <b>Otros</b> <u>Poros</u>
PARÁMETROS DE ENSAYOS METALOGRAFICO	
<b>Temperatura durante el pulido:</b> 21 <sup>a</sup> C	<b>Pulido:</b> Pulido Mecánico
<b>Ataque Químico de la superficie:</b> Nital 2% Villela	<b>Tiempo (s):</b> 10 20
RESULTADO	
Microestructura Sin Ataque100x	Microestructura Con Ataque 100X
	
Microestructura del Material Base a 500X	Microestructura de la Interface a 500X



Microestructura del Borde a 500X



**TERMOGRAFÍA**




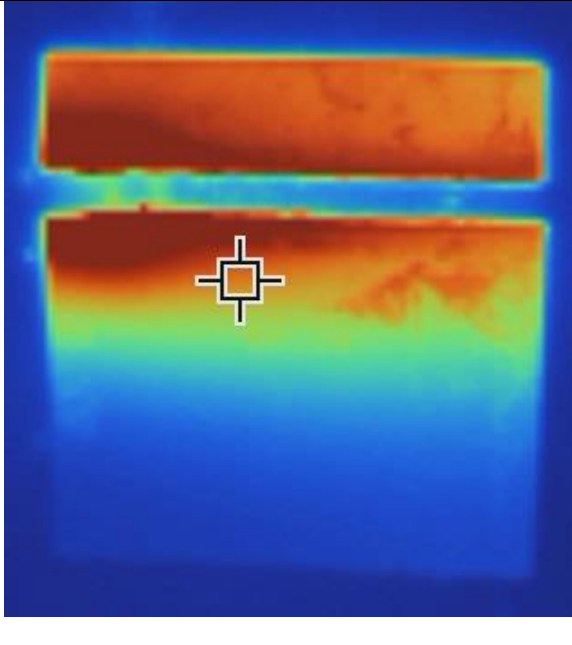


**PRIMERA MEDIDA: 290 °C**

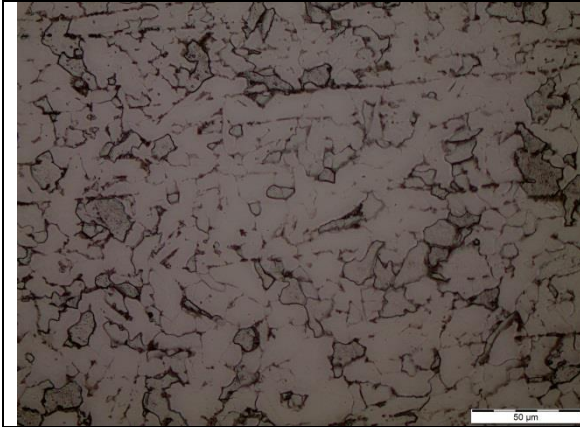
**SEGUNDA MEDIDA: 252.4 °C**

**TERCERA MEDIDA: 44.2.5 °C**

IDENTIFICACIÓN	
<b>No. Probeta:</b> 7	<b>Fecha:</b> 19 de Diciembre del 2017
MATERIALES	EQUIPO
<b>Material:</b> Acero ASTM A131 <b>Espesor (mm):</b> 5 <b>Dimensiones (mm):</b> 200x200	<b>Tamaño de boquilla:</b> 00 <b>Presión de oxígeno(PSI):</b> 30 <b>Presión acetileno (PSI):</b> 10
PROCESO DE CORTE	PERFIL DE CORTE
<b>Tiempo de precalentamiento (s):</b> 14 <b>Tiempo de corte (s):</b> 58 <b>Velocidad de corte (mm/s):</b> 2.77 <b>Ancho de corte (mm):</b> 3,5 <b>Longitud de corte (mm):</b> 200	
EVALUACIÓN CALIDAD DE CORTE	
APARIENCIA SUPERFICIE	BORDE
<b>Plano</b> <b>Irregular</b> X	<b>Cuadrado</b> <b>Socavamiento borde inferior</b> X <b>Socavamiento borde superior</b>
ESCORIA	DEFECTOS SUPERFICIALES
<b>Si</b> X <b>No</b>	<b>Grietas</b> <b>Bolsas</b> <b>Otros</b> <b>Poros</b> _____
PARÁMETROS DE ENSAYOS METALOGRAFICO	
<b>Temperatura durante el pulido:</b> 21 <sup>a</sup> C	<b>Pulido:</b> Pulido Mecánico
<b>Ataque Químico de la superficie:</b> Nital 2% Villela	<b>Tiempo (s):</b> 10 20
RESULTADO	
Microestructura Sin Ataque100x	Microestructura Con Ataque 100X
	

Microestructura del Material Base a 500X	Microestructura de la Interface a 500X
	
Microestructura del Borde a 500X	
	
<b>TERMOGRAFÍA</b>	
	<p><b>PRIMERA MEDIDA:</b> 278 °C</p> <hr/> <p><b>SEGUNDA MEDIDA:</b> 129 °C</p> <hr/> <p><b>TERCERA MEDIDA:</b> 54.3 °C</p>

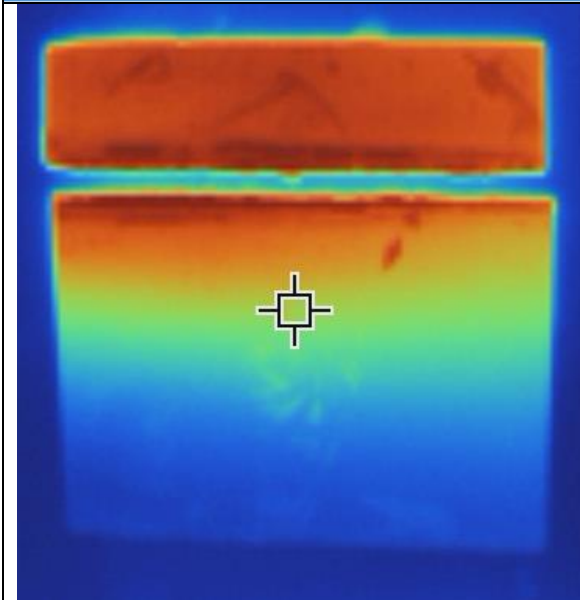
IDENTIFICACIÓN	
<b>No. Probeta:</b> 8	<b>Fecha:</b> 19 de Diciembre del 2017
MATERIALES	EQUIPO
<b>Material:</b> Acero ASTM A36 <b>Espesor (mm):</b> 5 <b>Dimensiones (mm):</b> 200x200	<b>Tamaño de boquilla:</b> 00 <b>Presión de oxígeno(PSI):</b> 30 <b>Presión acetileno (PSI):</b> 10
PROCESO DE CORTE	PERFIL DE CORTE
<b>Tiempo de precalentamiento (s):</b> 8 <b>Tiempo de corte (s):</b> 46 <b>Velocidad de corte (mm/s):</b> 2.77 <b>Ancho de corte (mm):</b> 3,5 <b>Longitud de corte (mm):</b> 200	
EVALUACIÓN CALIDAD DE CORTE	
APARIENCIA SUPERFICIE	BORDE
<b>Plano</b> <b>Irregular</b> X	<b>Cuadrado</b> <b>Socavamiento borde inferior</b> X <b>Socavamiento borde superior</b>
ESCORIA	DEFECTOS SUPERFICIALES
<b>Si</b> X <b>No</b>	<b>Grietas</b> <b>Bolsas</b> <b>Otros</b> ____ <b>Poros</b> ____
PARÁMETROS DE ENSAYOS METALGRÁFICO	
<b>Temperatura durante el pulido:</b> 21°C	<b>Pulido:</b> Pulido Mecánico
<b>Ataque Químico de la superficie:</b> Nital 2% Villela	<b>Tiempo (s):</b> 10 20
RESULTADO	
Microestructura Sin Ataque 100x	Microestructura Con Ataque 100X
	
Microestructura del Material Base a 500X	Microestructura de la Interface a 500X



Microestructura del Borde a 500X



**TERMOGRAFÍA**



**PRIMERA MEDIDA: 217.5 °C**

**SEGUNDA MEDIDA: 180.4 °C**

**TERCERA MEDIDA: 45.2 °C**